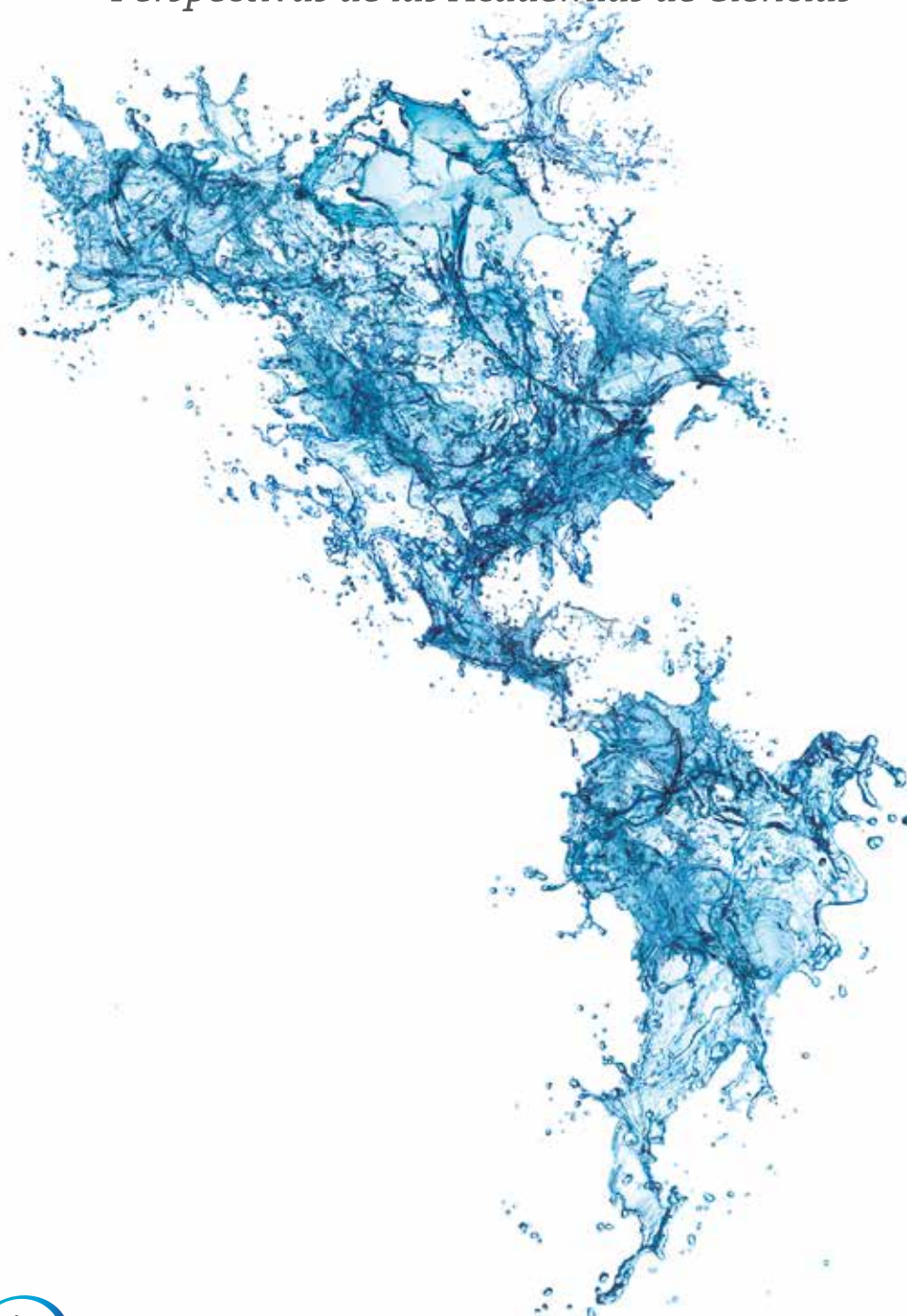


DESAFÍOS DEL **AGUA URBANA** EN LAS **AMÉRICAS**

Perspectivas de las Academias de Ciencias



DESAFÍOS DEL
AGUA URBANA
EN LAS AMÉRICAS

Perspectivas de las Academias de Ciencias

IANAS La Red Interamericana de Academias de Ciencias

IANAS es la red regional de Academias de Ciencias creada para apoyar la cooperación con el interés de fortalecer la ciencia y la tecnología como herramientas para el avance en la investigación, desarrollo, prosperidad y equidad en las Américas.

IANAS

Co-Chairs: Michael Clegg (Estados Unidos) y Juan Asenjo (Chile).
Directora Ejecutiva: Adriana de la Cruz Molina

Coordinación Editorial

Katherine Vammen y Adriana de la Cruz Molina

Programa de Agua de IANAS

Co-Chairs: Katherine Vammen (Nicaragua), Blanca Jiménez (México) y Co-Chair Honorario: Jose Tundisi (Brasil)

Comité Editorial

Gabriel Roldán (Colombia), María Luisa Torregrosa (México),
Katherine Vammen (Nicaragua), Ernesto J. González (Venezuela),
Claudia Campuzano (Colombia), Hugo Hidalgo (Costa Rica) y
Adriana de la Cruz Molina (México)

Corrección de estilo

Ma. Areli Montes Suárez y autores de los capítulos

Traducción

Suzanne D. Stephens (Argentina, Chile, México, Canadá, Honduras, Panamá, Costa Rica, República Dominicana, Perú y Toronto) y Alejandra Huete (Cuba y El Salvador)

Diseño gráfico

Víctor Daniel Moreno Alanís
Francisco Ibrahim Meza Blanco

Diseño de portada

Francisco Ibrahim Meza Blanco

Apoyo de diseño gráfico

Osiris López Aguilar, Mariana Guerrero del Cueto,
Tania Zaldivar Martínez, y Roberto Flores Angulo

Apoyo administrativo

Verónica Barroso
Luis Arturo Dassaev

Impreso por The Inter-American Network of Academies of Sciences (IANAS) Calle Cipreses s/n, Km 23,5 de la Carretera Federal México-Cuernavaca, 14400 Tlalpan, Distrito Federal, Mexico y por United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), 7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, France, the UNESCO Office in Montevideo, Edificio Mercosur, Luis Pereira 1992, 20 piso, casilla de correo 859, 11200 Montevideo, Uruguay.

© IANAS y UNESCO 2015

IANAS ISBN en trámite

Impreso en México



Esta publicación está disponible en <http://www.ianas.org/index.php/books> y Open Access under the Attribution-ShareAlike 3.0 IGO (CC-BY-SA 3.0 IGO) licencia (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/>). Al usar los contenidos de esta publicación, los usuarios aceptan los términos y condiciones de UNESCO Open Access Repositorio (<http://www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-en>). Para la versión impresa, la presente licencia aplica exclusivamente al contenido de la publicación. Para cualquier material que no esté claramente identificado como propiedad de UNESCO, se deberá solicitar previa autorización a publication.copyright@unesco.org o UNESCO Publishing, 7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP France.

Los contenidos y conceptos presentados en esta publicación no implican la expresión pública o de opinión de ninguna forma de la UNESCO en relación con la condición legal de ningún país, territorio, ciudad o área o de sus autoridades, o relacionado con las delimitaciones fronterizas o límites. Las ideas y opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no representan necesariamente las ideas de IANAS, IAP o de UNESCO y no comprometen a la organización.

Esta obra ha sido impresa en papel ecológico (certificación FSC): una parte de las fibras proviene de materiales reciclados y otra, de bosques explotados de manera sustentable. Además, el papel es libre de cloro elemental en su producción (Certificación ECF) con objeto de contribuir a la conservación de los recursos hídricos.

DESAFÍOS DEL **AGUA URBANA** EN LAS AMÉRICAS

Perspectivas de las Academias de Ciencias



Miembros de las Academias de Ciencias

Argentina

Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Argentina
www.ancefn.org.ar
Roberto L.O. Cignoli, Presidente

Brasil

Academia Brasileña de Ciencias
www.abc.org.br
Jacob Palis, Presidente

Bolivia

Academia Nacional de Ciencias de Bolivia
www.aciencias.org.bo
Gonzalo Taboada López, Presidente

Canadá

La Royal Society of Canadá: Las Academias de Artes, Humanidades y Ciencias de Canadá
<https://rsc-src.ca/en/>
Graham Bell, Presidente

Caribe

Academia de Ciencias del Caribe (Redes Regionales)
www.caswi.org
Trevor Alleyne, Presidente

Chile

Academia Chilena de Ciencias
www.academia-ciencias.cl
Juan Asenjo, Presidente

Colombia

Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
www.acefyn.org.co
Enrique Forero, Presidente

Costa Rica

Academia Nacional de Ciencias Costa Rica
www.anc.cr
Pedro León Azofeita, Presidente

Cuba

Academia de Ciencias de Cuba
www.academiaciencias.cu
Ismael Clark Arxer, Presidente

República Dominicana

Academia de Ciencias de la República Dominicana
www.academiadecienciasrd.org
Milcíades Mejía, Presidente

Ecuador

Academia de Ciencias del Ecuador
<http://www.academiadecienciasecuador.org>
Carlos Alberto Soria, Presidente

Guatemala

Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de Guatemala
www.interacademies.net/Academies/ByRegion/LatinAmericaCaribbean/Guatemala/
Enrique Acevedo, Presidente

Honduras

Academia Nacional de Ciencias de Honduras
www.guspepper.net/academia.htm
Gustavo A. Pérez, Presidente

México

Academia Mexicana de Ciencias
www.amc.unam.mx
Jaime Urrutia, Presidente

Nicaragua

Academia de Ciencias de Nicaragua
www.cienciasdenicaragua.org
Manuel Ortega, Presidente

Panamá

Asociación Panameña para el Avance de la Ciencia
www.apanac.org.edu.pa
Jorge Motta, Presidente

Perú

Academia Nacional de Ciencias del Perú
www.ancperu.org
Ronald Woodman Pollitt, Presidente

Estados Unidos de América

Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos
www.nasonline.org
Ralph J. Cicerone, Presidente

Uruguay

La Academia Nacional de Ciencias de la República Oriental del Uruguay
www.anciu.org.uy
Rodolfo Gambini, Presidente

Venezuela

Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales de Venezuela
www.acfiman.org.ve
Claudio Bifano, Presidente

Puntos Focales sobre Agua de IANAS

Argentina

Raúl A. Lopardo
Instituto Nacional del Agua

Bolivia

Fernando Urquidi
Academia Nacional de Ciencias de Bolivia

Brasil

José Galizia Tundisi
Instituto Internacional de Ecología

Canadá

Banu Ormeci
Universidad de Carleton

Grenada

Martín ST. Clair Forde
Universidad de St. George, Grenada

Chile

James McPhee
Centro Avanzado de Tecnología para la Minería
Universidad de Chile

Colombia

Gabriel Roldán
Academia Colombiana de Ciencias Exactas,
Físicas y Naturales

Costa Rica

Hugo Hidalgo
Universidad de Costa Rica

Cuba

Daniela Mercedes Arellano Acosta
Agencia de Medio Ambiente, Ministerio de Ciencia,
Tecnología y Medio Ambiente, Havana, Cuba

República Dominicana

Osiris de León
Comisión de Ciencias Naturales y Medio Ambiente
de la Academia de Ciencias

El Salvador

Julio César Quiñones Basagoitia
Miembro de la Asociación Mundial para el Agua

Guatemala

Manuel Bastarrechea
Academia de Ciencias Médicas,
Físicas y Naturales de Guatemala

Honduras

Marco Blair
Academia Nacional de Ciencias de Honduras

México

María Luisa Torregrosa
Facultad Latinoamericana
de Ciencias Sociales, FLACSO

Nicaragua

Katherine Vammen
Centro para la Investigación
en Recursos Acuáticos de Nicaragua,
Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua

Panamá

José R. Fábrega
Centro de Investigaciones Hidráulicas e
Hidrotécnicas Universidad Tecnológica de Panamá

Perú

Nicole Bernex
Centro de Investigación en Geografía Pontificia
Universidad Católica del Perú

Uruguay

Daniel Conde
Facultad de Ciencias
Universidad de la República

EE.UU.

Henry Vaux
Universidad de California

Venezuela

Ernesto J. González
Facultad de Ciencias de la Universidad
Central de Venezuela

Coordinadores y autores

Argentina

Raúl Antonio Lopardo
Instituto Nacional del Agua

Jorge Daniel Bacchiega
Instituto Nacional del Agua

Luis E. Higa
Instituto Nacional del Agua

Bolivia

Fernando Urquidi-Barrau
Academia Nacional de Ciencias de Bolivia

Brasil

José Galizia Tundisi
Instituto Internacional de Ecología

Carlos Eduardo Morelli Tucci
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Fernando Rosado Spilki
Centro Universitario Feevale

Ivanildo Hespanhol
Universidade de São Paulo

José Almir Cirilo
Universidade Federal de Pernambuco

Marcos Cortesão Barnsley Scheuenstuhl
Academia Brasileña de Ciencias

Natalia Andricioli Periotto
Centro de Ciências Biológicas e da Saúde

Canadá

Banu Örmeci
Universidad de Carleton

Michael D'Andrea
Gestión de Infraestructuras de Agua de Toronto

Chile

James McPhee
Centro Avanzado de Tecnología
para la Minería, Universidad de Chile

Jorge Gironás
Escuela de Ingeniería Pontificia
Universidad Católica de Chile

Bonifacio Fernández
Escuela de Ingeniería Pontificia
Universidad Católica de Chile

Pablo Pastén
Departamento de Hidráulica y Medio Ambiente
Pontificia Universidad Católica de Chile

José Vargas
Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica

Alejandra Vega
Pontificia Universidad Católica de Chile

Sebastián Vicuña
Centro de Cambio Global UC

Colombia

Gabriel Roldán
Academia Colombiana de Ciencias
Exactas Físicas y Naturales

Claudia Patricia Campuzano Ochoa
Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia

Luis Javier Montoya Jaramillo
Universidad Nacional de Colombia-Medellín

Carlos Daniel Ruiz Carrascal
Escuela de Ingeniería de Antioquia

Andrés Torres
Pontificia Universidad Javeriana-Bogotá

Jaime Lara-Borrero
Pontificia Universidad Javeriana-Bogotá

Sandra Lorena Galarza-Molina
Pontificia Universidad Javeriana-Bogotá

Juan Diego Giraldo Osorio
Pontificia Universidad Javeriana-Bogotá

Milton Duarte
Grupo de Investigación
Ciencia e Ingeniería del Agua

Sandra Méndez-Fajardo
Pontificia Universidad Javeriana-Bogotá

Costa Rica

Hugo G. Hidalgo
Universidad de Costa Rica

Ángel G. Muñoz
Instituto Internacional de Investigación para el
Clima y la Sociedad de la Universidad de Columbia

Carolina Herrero
Ph-C Ingenieros Consultores

Eric J. Alfaro
Universidad de Costa Rica, Escuela de Física

Natalie Mora
Universidad de Costa Rica, Escuela de Física

Víctor H. Chacón
Municipalidad de Pérez Zeledón, C.N.E.

Darner A. Mora
Laboratorio Nacional de Aguas

Mary L. Moreno
Centro Internacional de Política Económica
para el Desarrollo Sostenible de la Universidad
Nacional de Costa Rica

Cuba

Daniela de las Mercedes Arellano Acosta
Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y
Microbiología, La Habana, Cuba

L.F. Molerio-León MSc.
GRANIK HOLDINGS Ltd.
(República Dominicana)

Eduardo O. Planos Gutiérrez
Instituto de Meteorología de Cuba

República Dominicana

Osiris de León
Comisión de Ciencias Naturales y Medio Ambiente
de la Academia de Ciencias

El Salvador

Julio Cesar Quiñones Basagoitia
Miembro de la Asociación Mundial para el Agua

Grenada

Martin ST. Clair Forde
Universidad de St. George, Grenada

Brian P. Neff
Universidad de St. George, Grenada

Guatemala

Manuel Basterrechea
Academia de Ciencias Médicas,
Físicas y Naturales de Guatemala

Carlos Roberto Cobos
Centro de Investigación en Ingeniería

Juan Carlos Fuentes
Instituto Nacional de Electrificación

Norma Edith Gil Rodas de Castillo
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura CEMA
Universidad de San Carlos, USAC-Guatemala

Jeanette Herrera de Noack
Alianza Mundial de Derecho Ambiental

Ana Beatriz Suárez
Laboratorio Ecológico y Químico, S.A.

Honduras

Marco Antonio Blair Chávez

Academia Nacional de Ciencias de Honduras

Manuel Figueroa

Academia Nacional de Ciencias de Honduras

México

María Luisa Torregrosa y Armentia

Investigadora en la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales-FLACSO

Blanca Jiménez-Cisneros

División de Ciencias del Agua y Secretaria de la Organización de las Naciones Unidas para el trabajo conjunto en las áreas educativas, científicas y culturales

Jacinta Palerm

Postgrado, México-COLPOS (Colegio de Posgraduados)

Ricardo Sandoval Minero

Sextante Servicios de Consultoría, S.C.

Karina Kloster

Universidad Autónoma de la Ciudad de México

Poliptro F. Martínez Austria

Universidad de las Américas, Puebla

Jordi Vera Cartas

Fondo Golfo de México A.C.

Ismael Aguilar Barajas

Instituto Tecnológico de Monterrey

Nicaragua

Katherine Vammen

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN)

Yelba Flores Meza

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN)

Selvia Flores Sánchez

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN)

Iris Hurtado García

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN)

Mario Jiménez García

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN)

Francisco J. Picado Pavón

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN)

Gustavo Sequeira Peña

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN)

Panamá

José Rogelio Fábrega Duque

Universidad Tecnológica de Panamá

Miroslava Morán Montaña

Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC)

Elsa Lilibeth Flores Hernández

Universidad Tecnológica de Panamá

Icela Ibeth Márquez Solano de Rojas

Universidad Tecnológica de Panamá Fundación Universitaria Iberoamericana

Argentina Ying B

Universidad de Panamá

Casilda Saavedra

Universidad Tecnológica de Panamá

Berta Alicia Olmedo Vernaza

Gerencia de Hidrometeorología de ETESA (Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A.)

Pilar López Palacios
Gerencia de Hidrometeorología de ETESA (Empresa
de Transmisión Eléctrica, S.A.)

Perú

Nicole Bernex Weiss
Centro de Investigación en Geografía Pontificia
Universidad Católica del Perú

Julio Kuroiwa Zevallos
Universidad Nacional de Ingeniería

Victor Carlotto Caillaux
Universidad Nacional de San Antonio
Abad del Cusco

César Cabezas Sánchez
Instituto Nacional de Salud de Perú

Ruth Shady Solis
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Fernando Roca
Pontificia Universidad Católica del Perú

Mathieu Durand
Universidad de Maine, Francia

Eduardo Ismodes Cascón
Pontificia Universidad Católica del Perú

Estados Unidos de América

Henry J. Vaux
Universidad de California

Uruguay

Daniel Conde Scalone
Facultad de Ciencias de la
Universidad de la República

Adriana Piperno de Santiago
Facultad de Arquitectura de la
Universidad de la República

Federico Quintans Sives
Facultad de Ciencias de la
Universidad de la República

Venezuela

Ernesto José González
Facultad de Ciencias de la
Universidad Central de Venezuela

María Leny Matos
Laboratorio de Plancton HIDROVEN

Eduardo Buroz
Universidad Católica Andrés Bello

José Ochoa-Iturbe
Escuela de Ingeniería
de la Universidad Católica Andrés Bello

Antonio Machado-Allison
Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y
Naturales de Venezuela

Róger Martínez
Universidad Simón Bolívar

Ramón Montero
Instituto de Ciencias de la Tierra
de la Universidad Central de Venezuela

Agradecimientos

La gran cantidad de información presentada en este libro fue posible gracias a la generosidad de los 120 autores (todos ellos mencionados en la página 603) que participaron en esta recopilación de información acerca de los recursos hídricos urbanos en sus respectivos países. Utilizan esta información para analizar el contexto urbano del agua y poder formular recomendaciones que contribuyan a mejorar la gestión del vital líquido y solucionar los problemas en materia de calidad y cantidad del agua urbana. Los autores aportan sus vastos conocimientos y experiencia de forma voluntaria, para que todos conozcamos mejor la situación actual de los recursos hídricos en las principales zonas urbanas de cada uno de sus países. Se pretendió proporcionar una síntesis colectiva que describa los principales problemas urbanos y las estrategias de gestión de la amplia diversidad geográfica y económica de las Américas. Es de suma importancia reconocer la labor de los centros de coordinación de IANAS, que actuaron como representantes de los veinte países y que organizaron grupos de especialistas en diversos temas relacionados con el agua como factor clave, para garantizar que los capítulos de cada uno de los países contaran con un contenido de alta calidad. Este magnífico esfuerzo colectivo fue fundamental para el rico contenido presentado en cada capítulo.

La Red Global de Academias de Ciencias (IAP, Panel Inter-Académico sobre asuntos internacionales) ha sido una fuente de apoyo e inspiración para la realización de este libro y, por ello, le estamos eternamente agradecidos. También deseamos agradecer a la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) el apoyo y el aliciente brindados, y de manera muy especial al Director de la División de las Ciencias del Agua de la Secretaría del Programa Hidrológico Internacional (IHP, por sus siglas en inglés). El Programa Hidrológico Internacional ha patrocinado la publicación de este libro de forma significativa, ya que guarda una cercana relación con una de sus prioridades actuales: “El agua y los asentamientos humanos del futuro”, como ya fue mencionado con anterioridad en palabras de la directora del PHI, Dra. Blanca Jiménez. Agradecemos y reconocemos el apoyo de la UNESCO y el PHI para dar a conocer la idea original de este libro, y por su financiamiento y aportaciones medulares para el desarrollo del proyecto.

Los siete miembros del comité editorial dedicaron muchas horas a la coordinación del contenido de los capítulos, así como a la edición de cada uno de ellos, aportando sus comentarios y revisiones y, finalmente, revisando la traducción al idioma Inglés. Nuestro agradecimiento a Gabriel Roldán (Colombia), Katherine Vammen (Nicaragua), Claudia Campuzano (Colombia), Ernesto González (Vene-

zuela), Hugo Hidalgo (Costa Rica), María Luisa Torregrosa (México) y Adriana de la Cruz Molina (México). Henry Vaux (EUA) brindó su apoyo de muchas maneras y, sobre todo, en revisiones de algunos capítulos para asegurarse de que la traducción fuera fiel y correcta. Su tiempo e invaluable ayuda han sido cruciales.

Deseamos también agradecer el apoyo y aliciente brindados por los Co-Presidentes de IANAS, Michael Clegg y Juan Asenjo.

Nuestro especial agradecimiento a los Co-Presidentes del Programa de Agua de IANAS, Prof. José Tundisi, de Brasil, y Dra. Blanca Jiménez Cisneros, de México. Sus conocimientos especializados, adquiridos en dos países con enormes zonas urbanas, fueron el acicate que dio origen a la idea inicial de elaborar este libro. La confianza que depositaron en los representantes de los coordinadores del Programa de Agua de IANAS constituyó un importante incentivo para hacer realidad esta publicación.

Agradecemos a la Directora Ejecutiva de IANAS, Adriana de la Cruz Molina, la enorme cantidad de ideas y largas sesiones de trabajo que dedicó al desarrollo del contenido, diseño y organización de esta obra para hacer posible su realización.

El equipo de traductores desempeñó un papel clave en la traducción del contenido de los capítulos para poder llegar a un mayor número de lectores a nivel internacional. Agradecemos a Suzanne D. Stephens y Alejandra Huete su gran dedicación para hacer posible la traducción al idioma español de varios capítulos de este libro. La revisión en español y corrección de estilo no hubieran sido posibles sin el entusiasmo y profesionalismo que Areli Montes Suárez dedicó en cada capítulo. También agradecemos las muchas horas y energía creativa que Víctor Daniel Moreno Alanís, con el apoyo de Francisco Ibraham Meza Blanco y todo el equipo de jóvenes diseñadores gráficos, dedicaron al diseño gráfico del libro y al desarrollo de la portada. Un agradecimiento especial a Verónica Barroso por su apoyo en las diferentes fases de la publicación del libro.




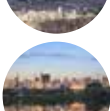






También deseamos expresar nuestro agradecimiento a la Asociación Mundial para el Agua (GWP, por sus siglas en inglés) de Centroamérica por su especial apoyo y contribución de los capítulos sobre El Salvador y Honduras.













Katherine Vammen (Nicaragua)

Co-Chair del Programa de Agua de IANAS



Índice

	Prólogo 15
	Michael Clegg y Juan Asenjo, Co-Chairs de IANAS
	Aguas urbanas en las Américas 16
	Blanca Jiménez-Cisneros, Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO
	El agua en las regiones urbanas 19
	José Galizia Tundisi, Instituto Internacional de Ecología de São Carlos, Brasil
	Un rápido vistazo 21
	Katherine Vammen, Co-Chair del Programa de Agua de IANAS
	El agua urbana en el continente americano: El caso de Argentina 26
	Raúl Antonio Lopardo, Jorge Daniel Bacchiega y Luis E. Higa
	Compendio de los recursos hídricos en las ciudades capitales de los departamentos de Bolivia 52
	Fernando Urquidi-Barrau
	Aguas urbanas en Brasil 86
	José Galizia Tundisi, Carlos Eduardo Morelli Tucci, Fernando Rosado Spilki, Ivanildo Hespanhol, José Almir Cirilo, Marcos Cortesão Barnsley Scheuenstuhl y Natalia Andricoli Periotto
	Un análisis de los recursos hídricos, su uso y tratamiento en Canadá 116
	Banu Örmeci
	Gestión del agua en zonas urbanas: Estudio de caso de la ciudad de Toronto 132
	Michael D'Andrea
	Abastecimiento de agua potable en las ciudades de Chile: Avances y desafíos pendientes 152
	James McPhee, Jorge Gironás, Bonifacio Fernández, Pablo Pastén, José Vargas, Alejandra Vega y Sebastián Vicuña
	Agua urbana en Colombia 174
	Coordinadores: Claudia P. Campuzano Ochoa y Gabriel Roldán. Autores: Claudia P. Campuzano Ochoa, Gabriel Roldán, Andrés E. Torres Abello, Jaime A. Lara Borrero, Sandra Galarza Molina, Juan Diego Giraldo Osorio, Milton Duarte, Sandra Méndez Fajardo, Luis Javier Montoya Jaramillo y Carlos Daniel Ruiz
	Aguas urbanas en Costa Rica 208
	Hugo G. Hidalgo León, Carolina Herrero Madriz, Eric J. Alfaro Martínez, Ángel G. Muñoz, Natalie P. Mora Sandí, Darner A. Mora Alvarado y Víctor H. Chacón Salazar
	Particularidades de la gestión de acuíferos de islas en trópicos húmedos: el ciclo del agua urbana en La Habana, Cuba 234
	Coordinadora: Daniela de las Mercedes Arellano Acosta. Autores: L.F. Molerio-León, Ma. I. González González y E.O. Planos Gutiérrez

	Perspectiva de las aguas urbanas en El Salvador Julio César Quiñonez Basagoitia	256
	Una visión general de la gestión urbana del agua y problemas relacionados en los Estados Unidos de América Henry Vaux, Jr.	298
	Impacto del desarrollo en el abastecimiento y saneamiento del agua en Grenada Martin S. Forde y Brian Neff	318
	Agua urbana en Guatemala Claudia Velásquez, Norma de Castillo, Jeanette de Noack, Ana Beatriz Suárez, Carlos Cobos, Juan Carlos Fuentes y Manuel Basterrechea	344
	Gestión del agua urbana en Honduras: el caso de Tegucigalpa Marco Antonio Blair Chávez y Manuel Figueroa	362
	Agua urbana en México Coordinadora: María Luisa Torregrosa. Con la colaboración de los siguientes autores: Ismael Aguilar Barajas, Blanca Jiménez Cisneros, Karina Kloster, Polioptro Martínez, Jacinta Palerm, Ricardo Sandoval y Jordi Vera	396
	Agua urbana en Nicaragua Katherine Vammen, Selvia Flores, Francisco Picado, Iris Hurtado, Mario Jiménez, Gustavo Sequeira y Yelba Flores	430
	Aguas urbanas en Panamá José R. Fábrega D., Miroslava Morán M., Elsa L. Flores H., Icela I. Márquez de Rojas, Argentina Ying, Casilda Saavedra, Berta Olmedo y Pilar López	466
	Abastecimiento de agua urbana en Perú Nicole Bernex Weiss, Víctor Carlotto Caillaux, César Cabezas Sánchez, Ruth Shady Solís, Fernando Roca Alcázar, Mathieu Durand, Eduardo Ismodes Cascón y Julio Kuroiwa Zevallos	492
	Aguas urbanas en la República Dominicana Rafael Osiris de León	522
	Aguas urbanas en Uruguay: avances y desafíos hacia una gestión integrada Coordinación y edición: Adriana Piperno, Federico Quintans and Daniel Conde. Autores: Álvaro Capandeguy, Adriana Piperno, Federico Quintans, Pablo Sierra, Julieta Alonso, Christian Chreties, Alejandra Cuadrado, Andrea Gamarra, Pablo Guido, Juan Pablo Martínez, Néstor Mazzeo, María Mena, Nicolás Rezzano, Gabriela Sanguinet, Javier Taks, Guillermo Goyenola, Elizabeth González, Julieta López, Amancay Matos, Osvaldo Sabaño, Carlos Santos, Matilde Saravia, Luis Silveira, Rafael Arocena y Luis Aubriot	542
	Agua urbana en Venezuela Ernesto José González, María Leny Matos, Eduardo Buroz, José Ochoa-Iturbe, Antonio Machado-Allison, Róger Martínez y Ramón Montero	574
	Semblanzas de los autores	621



Prólogo

El agua es, literalmente, la esencia de la vida. Es absolutamente esencial para la salud humana, la producción de alimentos y el saneamiento, así como para una gran variedad de otros usos. Todos los países sin excepción deben estar plenamente conscientes de los recursos hídricos actuales y futuros y de las estrategias diseñadas para una eficaz gestión de los mismos. El desafío es apremiante porque las demandas de la población humana, así como el cambio climático, han hecho que las fuentes que antes eran seguras ya no lo sean. Por otra parte, los proyectos en materia de agua con frecuencia son extensos y costosos y llevarlos a término toma varios años, por lo que la planificación futura es crucial. Consecuentemente, este libro pretende ofrecer una evaluación científica sobre asuntos clave relacionados con los recursos hídricos específicos de veinte países de las Américas. El objetivo de IANAS es que los legisladores, funcionarios gubernamentales y planificadores encargados de hacer frente a los desafíos asociados con el agua en el futuro, puedan usar este material como referencia.

IANAS es la Red Interamericana de Academias de Ciencias (www.ianas.org). IANAS incluye a todas las Academias de Ciencias de las Américas y cuenta con las mejores mentes científicas de nuestra región. El objetivo de IANAS es proporcionar datos basados en la evidencia a quienes formulan las políticas, así como desarrollar las capacidades científicas en nuestro hemisferio. IANAS puede lograr este objetivo mediante inversiones dirigidas a recursos humanos para la ciencia y centrándose en los desafíos clave en materia de recursos. Este tomo es el segundo de una serie de libros sobre el agua, publicado en español e inglés con objeto de llegar a una amplia audiencia objetivo. El primero de ellos presentó una evaluación completa de la situación de los recursos hídricos en las Américas. Este segundo material aborda el problema inherente a los desafíos del agua urbana. El hemisferio de las Américas se encuentra entre las regiones más urbanizadas del planeta y las necesidades en materia de agua urbana son apremiantes. IANAS espera que esta publicación constituya una valiosa herramienta guía para hacer frente al desafío clave que enfrentan nuestros países.

Michael Clegg
IANAS Co-Chair, EE.UU.

Juan Asenjo
IANAS Co-Chair, Chile

Aguas Urbanas en las Américas

Blanca Jiménez Cisneros

Directora de la División de Ciencias del Agua y Secretaria del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO

El Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO (PHI) se inició en 1975 como parte del Decenio Hidrológico Internacional (1965-1975). PHI se pone en práctica en fases o etapas, con objeto de adaptar sus actividades a las cambiantes necesidades del mundo en materia de gestión sostenible del agua. El programa y sus actividades se diseñaron con base en una consulta en profundidad coordinada por la Secretaría del Programa Hidrológico Internacional y los Hidrólogos Regionales del Programa distribuidos en 169 Comités Nacionales del Programa, el Instituto de la UNESCO-IHE de categoría 1 para la Educación Relativa al Agua, los 28 centros del agua regionales e internacionales de categoría 2 de la UNESCO, las 35 Cátedras de Agua de la UNESCO y otros socios importantes del Programa Hidrológico Internacional, así como organismos de la ONU relacionados con el agua. En 2014, el PHI-VIII entró en su octava fase, que se enfoca a hacer frente a los desafíos globales, regionales y locales en materia de abastecimiento del agua. Entre los seis temas del PHI-VIII, el cuarto es “Agua para los Asentamientos Humanos del Futuro”, e incluye, entre otros, lo relacionado con el agua urbana.

Actualmente, 750 millones de personas carecen de acceso a servicios de agua potable y muchos millones más cuentan con un servicio insuficiente. Al mismo tiempo, la urbanización está creciendo a pasos agigantados. Se espera que en los próximos 40 años, las ciudades reciban 800 mil habitantes más por semana. A nivel mundial, desde 2011, por primera vez en la historia humana, la población en su mayoría vive en las ciudades. Lo anterior, aunado a la falta absoluta o parcial de servicios para habitantes de las ciudades, junto con el crecimiento demográfico y económico, han sido y continúan siendo factores que hacen necesario un mayor grado de mejoras y de gestión de aguas urbanas. Asimismo, la obsolescencia de la infraestructura hidráulica urbana es evidente en muchas ciudades y requerirá grandes inversiones para su renovación. La creciente urbanización en todo el mundo exige el desarrollo de nuevas formas de operación de los servicios públicos, incluyendo aquellos relacionados con el agua. Se requieren nuevos enfoques para optimizar la gestión conjunta de los recursos hídricos, uso de la tierra y energía, así como para disminuir la huella hídrica de las ciudades y para controlar el transporte de contaminantes en aguas, y la transferencia de contaminantes en el agua, el suelo y el aire de las ciudades. Entre las regiones con tasas importantes de urbanización, sobresalen las Américas y, en particular, Latinoamérica. Esta última región cuenta con la tasa más alta a nivel mundial de

habitantes urbanos con más de 72% de su población residiendo en las ciudades. No es de extrañar que la gestión del agua urbana en la región sea un problema que a veces se resuelve satisfactoriamente, pero no siempre es así.

El libro describe la situación en materia de gestión del agua urbana en 20 países: todos los países de América del Norte y América del Sur, y un buen número de países de Centroamérica y la región del Caribe. Se creó una red única de científicos multidisciplinarios que sumó un total de 120 autores para su elaboración. El libro es extraordinario no sólo por esta razón, sino porque recoge por primera vez en un marco integrado, pero flexible, aspectos que nunca habían recibido atención respecto de la gestión del agua urbana en el continente americano. Estos aspectos incluyen la calidad y reutilización del agua, los acuíferos en zonas urbanas, la gestión de aguas pluviales, las inundaciones urbanas, los problemas de salud humana y problemas ambientales, y, por supuesto, el cambio climático. A través de esta orientación multidireccional, el libro revela que los desafíos en materia de abastecimiento de agua urbana son comunes a las ciudades de todos los países. Junto con toda la gama de consideraciones económicas, preocupa la desigualdad en cuanto a acceso a los servicios. Es necesario planificar inversiones dirigidas a la renovación de la infraestructura hidráulica urbana; los problemas por inundaciones urbanas y mala calidad del agua se siguen suscitando, e impera la necesidad de construir ciudades que resistan el cambio climático.

El libro tiende, junto con el enfoque del Programa Hidrológico Internacional, un puente entre la ciencia y la política, que facilitará el diálogo entre científicos y legisladores. También constituye una herramienta útil proporcionada por científicos, *inter alia*, para uso de los encargados de formular las políticas, ya que se elaboró utilizando un enfoque interdisciplinario que combinó el conocimiento de los científicos con la experiencia de los funcionarios responsables de los servicios públicos de agua, para poder aplicarse en la solución de problemas prácticos pertinentes a las necesidades de la sociedad. Un aspecto particularmente destacable de esta obra es la importancia que se brindó a la difusión de los problemas actuales con objeto de hacer posible que el público esté bien informado y se involucre y participe en las soluciones. Esto pone de relieve la importancia de contar con habilidades de comunicación por parte de la comunidad de especialistas en materia de agua, que logren transmitir los aspectos científicos sobre este tema a la comunidad no científica. Por otro lado, pone de manifiesto la necesidad de proporcionar información confiable a la sociedad respecto de los problemas públicos de agua, y de crear sistemas de gobierno responsables que incluyan a la población en la planificación y ejecución de los proyectos.

Por su contenido y alcance, esta publicación guarda una total relación con los objetivos del PHI-VIII. Además, ha respaldado tareas clave del Programa Hidrológico Internacional en cuanto a: a) la organización de redes científicas y de innovación, b) el fortalecimiento del vínculo entre científicos y legisladores, y c) su contribución al desarrollo de capacidades institucionales y humanas. Sin duda alguna esta publicación fue posible gracias a los esfuerzos de la Red Interamericana de Academias de Ciencias, en colaboración con las Academias Nacionales de Ciencias y todos los países que se unieron a este esfuerzo. El Programa Hidrológico Internacional se siente muy complacido de haber apoyado este trabajo a través de su red y de promover su difusión y uso entre los estados miembros.





El Agua en las Regiones Urbanas

José Galizia Tundisi

Instituto Internacional de Ecología
de São Carlos, Brasil

La urbanización es un fenómeno mundial. Una gran parte de las poblaciones humanas vive actualmente en zonas urbanas que incluyen de 10 mil a 50 mil habitantes, hasta millones en las grandes metrópolis. La salud y calidad de vida de estos habitantes urbanos depende en buena medida de una serie de factores y fenómenos naturales, como el clima, las características geológicas, los ciclos hidrológicos, la cubierta vegetal y la biodiversidad.

El uso intensivo de la tierra resultado de la expansión de la zona urbana tiene efectos en la salud humana y reduce las áreas verdes a unas cuantas zonas aisladas.

Los recursos hídricos de una ciudad constituyen un componente clave que incide sobre las complejas condiciones ambientales que sostienen a las poblaciones humanas. La disponibilidad de agua, su calidad y abastecimiento, están interrelacionados en las regiones urbanas debido a los siguientes factores: en muchas ciudades de Latinoamérica, el agua potable de buena calidad no llega a todas las comunidades, en especial a las zonas periféricas, a causa de la polución y contaminación ocasionadas por el uso intensivo de la tierra y la falta de tratamiento de las aguas residuales, así como por la eutrofización debida a fuentes puntuales y no puntuales de nutrientes. El abastecimiento de agua tiene que ver tanto con su disponibilidad como con su contaminación.

Entonces, ¿cómo puede uno convertir una región urbana o una ciudad en un entorno habitable? Primero que nada se debe tener en cuenta la complejidad de una gran ciudad o región urbana. Ésta es una tarea para la futura generación de científicos e investigadores que pondrán en práctica la ciencia de los sistemas complejos en las regiones urbanas.¹

En segundo lugar, las ciudades dependen de recursos que se encuentran a mucha distancia de las zonas urbanas: el agua, los alimentos, las fibras y la madera se producen generalmente por procesos de alteración de los servicios ecosistémicos o ambientales en el aglomerado urbano.

En tercer lugar, la red de carreteras, los trabajos de construcción e infraestructura “desconectan” a la gente de la naturaleza.

Es crucial restaurar los ecosistemas urbanos. Se deben construir ciudades verdes y proteger y promover los parques naturales, los bosques ribereños y los humedales, limpiar ríos y lagos con el fin de proporcionar sitios destinados a la educación sobre los recursos hídricos y su conservación, restaurar la biodiversidad urbana y reconectar a la gente con la naturaleza.²

Estas medidas asegurarán la recarga de las aguas subterráneas y la disponibilidad de agua potable además de mejorar la humedad en el aire debido a la evapotranspiración de la vegetación en parques naturales y bosques ribereños.

La restauración de la naturaleza en las ciudades promoverá un entorno urbano saludable y atractivo, mejorará la calidad de vida y generará mejores oportunidades de empleo y educación. El ciclo del agua en este contexto tiene una extrema importancia ecológica, económica y social.

1. Reid W. et al., 2010. Earth System Science for Global sustainability: grand challenges. *Science* vol. 330, pp. 916-917.

2. Tundisi J. G., 2005. *Ciudades Verdes*. Carta al Editor. Ciencia. Academia de Ciencias de Brasil, Leopoldina Nationale Akademie, Alemania. 2014. *El Agua en Regiones Urbanas*. 29 pp.



Un rápido vistazo a

Los Desafíos del Agua Urbana en las Américas. Perspectivas de las Academias de Ciencias

Katherine Vammen

Co-Chair del Programa de Agua de IANAS

¿Se pueden solucionar los problemas de abastecimiento de agua y saneamiento urbano mediante una mejor gestión de los mismos?

¿Se puede mejorar el acceso al agua potable?

¿Es posible dar solución a los retos de mejora de saneamiento y gestión de aguas residuales?

¿Puede mejorarse la atención que se presta actualmente a los problemas de salud y enfermedades transmitidas por el agua en las zonas urbanas?

¿Cuáles son los desafíos de adaptación al cambio climático relacionados con el agua en las zonas urbanas y cómo pueden solucionarse?

¿Cuáles son los modelos y conceptos a seguir que contribuyen a mejorar la gestión del agua en las zonas urbanas?

Éstos y otros cuestionamientos se abordan en el presente libro, que aborda los problemas de agua urbanos de las Américas. Los problemas urbanos de agua son especialmente importantes, ya que más de 60% de la población mundial vive en ciudades, y este número aumenta cada año. Además, de acuerdo con estadísticas de las Naciones Unidas, las Américas se encuentra entre las regiones más urbanizadas del mundo (> 80%). La urbanización va de la mano con la intensificación del uso de los recursos hídricos para las necesidades humanas; a su vez, los sistemas hidrológicos juegan un papel en el desarrollo y crecimiento de las ciudades no sólo como fuentes de agua potable, sino también para la deposición de residuos. *Los Desafíos del Agua Urbana en las Américas* describe y analiza los problemas en materia de agua en centros urbanos de 20 países de las Américas: desde América del Sur, América Central, México y el Caribe, hasta los Estados Unidos y Canadá. Esta oportunidad especial de análisis de los países de las Américas, en el que cada uno de los países presenta diferentes características en materia de recursos hídricos y diversos niveles de desarrollo económico y social, así como una variedad de problemas relacionados con la calidad y cantidad del agua, aunados a sus diferentes experiencias respecto a la gestión del agua, es una contribución de la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS). La obra pretende constituirse en una herramienta para la búsqueda de soluciones a los desafíos de la gestión adecuada de los recursos hídricos en zonas urbanas tal como se establece en los veinte capítulos que lo constituyen. La información recogida de los países desarrollados y en vías de desarrollo revela que para que la gestión de los recursos hídricos sea eficaz, ésta debe salir de los límites de las ciudades e incluir las cuencas circundantes de las que provienen los recursos.

Este libro está organizado en capítulos por países, pero en cada uno se destacan los siguientes temas:

- Los recursos hídricos en zonas urbanas y los impactos en éstos por los procesos de urbanización.
- La adecuación y accesibilidad de los servicios de abastecimiento de agua en las zonas urbanas.
- Las estrategias adecuadas de gestión de aguas residuales en las zonas urbanas.
- La importancia de los servicios de agua urbana adecuados para la salud de la comunidad.
- Los impactos potenciales del cambio climático sobre los recursos hídricos y los servicios de agua en las zonas urbanas.

Algunos temas especiales de varios países incluyen lo siguiente:

- Sistemas urbanos y agua: [Brasil](#)
- Conservación y reutilización del agua como herramientas de gestión: [Brasil](#)
- Impacto urbano por la subida de nivel de las aguas subterráneas: [Argentina](#)
- Gestión y gobernanza del sector saneamiento: [Chile](#)
- Gestión sostenible de aguas pluviales en las ciudades: [Chile](#) y [Grenada](#).
- Aspectos de la gestión de los acuíferos de islas en zonas tropicales húmedas: [Cuba](#)
- Problemas especiales de suministro de agua en las islas: [Grenada](#) y [Cuba](#).
- Desarrollo histórico de abastecimiento de agua y la urbanización: [Uruguay](#)
- Gestión de aguas pluviales y planificación en las ciudades: [Uruguay](#)
- Atención a problemas de escasez de agua: Gestión de la demanda de agua: [EUA](#)
- Calidad biológica del agua en plantas de tratamiento de agua: [Panamá](#)
- Reutilización de aguas residuales: [Colombia](#)
- Análisis de vulnerabilidad al cambio climático de las principales ciudades de [Nicaragua](#)
- Crecimiento demográfico y estructuración de las ciudades: [México](#)
- Cambio climático y riesgo de desastres urbanos: [Perú](#)
- Eventos climáticos extremos en la Ciudad de [Guatemala](#).
- Proyecciones hidroclimáticas para Centroamérica: [Costa Rica](#).

Estudio de caso sobre gestión del agua urbana

También se incluye un estudio de caso especialmente aleccionador sobre las mejores prácticas en materia de gestión del agua urbana en [Toronto](#), Canadá.

Este particular compendio de experiencias sobre aguas urbanas en las Américas se encuentra sustentado por una amplia representación geográfica que destaca las diferencias en cuanto a disponibilidad de los recursos hídricos y los niveles de desarrollo económico. Los análisis incluidos en este documento ofrecen la oportunidad de aprender de estos ejemplos derivados de las similitudes y diferencias entre los países de las Américas. Además, pone de manifiesto el hecho de que se requerirá una importante diversidad de modelos de gestión hídrica para la gestión eficaz de este recurso.

La urbanización y los recursos hídricos

La urbanización en las Américas oscila entre 50 y 94% de la población de Latinoamérica y América del Norte, respectivamente, de acuerdo con el informe de la OMS y el UNICEF sobre Agua Potable y Saneamiento (2014). Algunas islas del Caribe como Grenada tienen niveles más bajos (39%), pero su grado de urbanización se encuentra en aumento. Este fenómeno se ha observado a nivel mundial y es común en todas las Américas, desde países desarrollados con poblaciones urbanas grandes y estabilizadas, hasta países en desarrollo en los que los patrones de urbanización se encuentran en constante crecimiento (ONU, 2009). La urbanización recrudece el problema de competencia por el uso del agua en un espacio pequeño. Lo anterior da lugar a una mayor eficacia en el uso del agua,

pero también impone exigencias especiales que tienen que ver con su transporte, el mantenimiento de su calidad y la gestión de su exceso ocasionado por las tormentas, entre otros desafíos. Si hemos de satisfacer las necesidades humanas de gozar de una calidad de vida sana y si el desarrollo económico ha de prosperar, es crucial contar con mejores métodos de gestión de los recursos hídricos urbanos.

En general, los desarrollos urbanos requieren de más agua por unidad de superficie, ya que generan desechos, incluyendo aguas residuales y desechos sólidos que tienden a degradar la calidad del agua y que deben atenderse y gestionarse. La urbanización también tiende a degradar las cuencas locales y sus alrededores debido a la destrucción de zonas boscosas y el aumento de áreas impermeables.

La urbanización y los impactos en los recursos hídricos de zonas urbanas

En la mayoría de los países, la urbanización se ha llevado a cabo sin una adecuada planificación y métodos de previsión. Los impactos ambientales se prevén sólo en contadas ocasiones, y esta falta de previsión ocasiona efectos negativos sobre el medio ambiente, incluidos los recursos hídricos. Ejemplos de lo anterior incluyen lo siguiente: 1) El uso inadecuado de la tierra y la deforestación en la cuenca y alrededores de los centros urbanos dan lugar a procesos de erosión que, a su vez, arrastran grandes cantidades de sedimentos a las ciudades y contamina las fuentes de agua; 2) Los vertidos descontrolados de aguas residuales domésticas e industriales en los cuerpos de agua superficiales y zonas costeras; 3) La falta de hábitos de higiene de la población y el manejo inadecuado de residuos sólidos depositados en fuentes de agua o sistemas de drenaje de las ciudades; 4) La contaminación de las aguas subterráneas y superficiales de diversas fuentes: la minería, los derrames de hidrocarburos procedentes de la industria y la contaminación derivada del almacenamiento de tanques de combustible en estaciones de servicio, así como el escurrimiento de plaguicidas de las actividades agrícolas en la cuenca circundante; 5) Desmedro en las recargas a los acuíferos urbanos por la cada vez menor cubierta vegetal (bosques, humedales, bosques ribereños) y la infraestructura impermeable relacionada con la urbanización, entre otros.

Servicios de abastecimiento de agua y saneamiento

En las últimas décadas ha mejorado el acceso al agua potable, así como el tratamiento de aguas residuales en las ciudades de las Américas. El servicio de acueductos en la mayoría de las ciudades ha alcanzado niveles que han hecho posible cumplir los Objetivos de Desarrollo del Milenio de las Naciones Unidas en cuanto a fuentes mejoradas de agua potable, y es importante destacar que América Latina y el Caribe cuentan con la mayor cobertura de agua potable de países en desarrollo. Sin embargo, como se puede observar en los análisis que se presentan en los capítulos dedicados a cada uno de los países, todavía existen serios problemas con respecto a la cobertura de un saneamiento mejorado en las ciudades, que varía de 57 hasta 100%, según el informe de la OMS y el UNICEF sobre Agua Potable y Saneamiento (2014). Chile es una excepción, ya que la rápida mejora en la cobertura de saneamiento que se ha logrado en los últimos diez años ha hecho posible el tratamiento de todas las aguas residuales recolectadas. Una combinación de factores hizo esto posible, entre ellos, la estabilidad económica de Chile, la reestructuración institucional e importantes inversiones en el caso de la privatización de los servicios públicos. A pesar de este éxito, todavía existen desafíos que hay que superar, como lo son, por ejemplo, el acceso a servicios de saneamiento en las comunidades no incorporadas de las zonas periféricas.

Los países en desarrollo de América Latina y el Caribe normalmente cuentan con servicios adecuados de abastecimiento de agua. Los problemas tienen más que ver con la continuidad de los servicios, la necesidad de reparar fugas masivas en los sistemas de distribución existentes, así como la necesidad de regular y poner en práctica controles para evitar las conexiones ilegales que afectan la eficacia de los servicios de entrega de agua y la capacidad económica de las empresas

de abastecimiento de agua para poder invertir en la mejora de los servicios. Los sistemas de distribución defectuosos también han ocasionado problemas en Canadá y Estados Unidos, donde es necesario reemplazar los sistemas obsoletos y poner en marcha nuevos proyectos de innovación y renovación. El estudio de caso de Toronto presenta algunas medidas de gestión que se han venido adoptando para financiar y mejorar los sistemas de distribución.

Queda claro que la falta de un monitoreo adecuado para detectar contaminantes en el agua, aunado a las emergentes fuentes de contaminación, es un problema de importancia en los países desarrollados y en desarrollo. También es importante destacar que en la mayoría de los países no se puede confiar en la seguridad microbiológica del agua, ya que los métodos de detección de patógenos virales y protozoarios no han sido incluidos en los protocolos estándar de monitoreo. Cabe mencionar que algunos sistemas de saneamiento mejorado todavía contaminan las fuentes de agua procedentes del mismo sistema. Muchos países señalan casos de tanques sépticos en zonas urbanas y en nuevos desarrollos urbanos que contaminan las fuentes de agua subterránea que se utilizan para el suministro de agua potable. Por otro lado, la mayor parte de los países en vías de desarrollo ha reportado los graves problemas que han ocasionado las descargas de aguas residuales no tratadas a los ríos y mares. También se ha informado que 15% de las aguas residuales no reciben siquiera el tratamiento primario básico. Algunos países de Centroamérica reportan muchos casos de lagunas de oxidación que tratan aguas residuales domésticas y que realizan descargas en los cuerpos de agua superficiales, lo que a su vez provoca una fuerte eutrofización, así como disminución de la calidad del agua para consumo humano y riego.

Las ciudades de América Latina y las islas del Caribe se ven afectadas por el crecimiento informal de las zonas periféricas (normalmente debido a la migración de poblaciones de las zonas rurales o como consecuencia de la crisis por el cambio climático en las zonas rurales) que cuentan con pocos o nulos servicios de agua o saneamiento. Estas zonas tienen una mayor incidencia de enfermedades transmitidas por el agua y un alto porcentaje de contaminación de las fuentes hídricas. Es necesario brindar especial atención a estas zonas periféricas para poder suministrar agua potable y proporcionar servicios adecuados de saneamiento a los residentes locales.

En el caso de Estados Unidos y Canadá, los problemas de agua urbana se reducen a la necesidad de mejorar el mantenimiento y la renovación de los sistemas. El deterioro de la calidad en las fuentes y, por supuesto, la crisis de escasez de agua, requieren “estrategias de gestión de demanda” financieras, tecnológicas e innovadoras dirigidas a reducir la pérdida de este recurso y “mantener los niveles de confiabilidad”.

Agua urbana y salud

El aumento en la cobertura de agua y saneamiento en zonas urbanas ha hecho posible que se reduzcan los brotes de enfermedades transmitidas por el agua (bacterianas y por vectores) en los países en desarrollo de las Américas. Las mejoras adicionales en la continuidad de los servicios, así como la renovación y mejores labores de mantenimiento de los sistemas de distribución, son factores que contribuyen a reducir aún más las probabilidades de contraer enfermedades transmitidas por el agua. En lugares en los que el suministro de agua y saneamiento llega sólo a una parte de la población o es inexistente, el medio ambiente propicia el desarrollo y la propagación de enfermedades transmitidas por el agua. Particularmente en riesgo se encuentran los asentamientos en zonas periféricas y asentamientos irregulares.

El cambio climático y el impacto sobre los recursos hídricos en las ciudades

Las ciudades se encuentran más expuestas a los fenómenos climáticos extremos, sobre todo por las fallas en la planificación de estrategias para el crecimiento y modernización de los sistemas de distribución de agua, aunadas a sistemas de drenaje inadecuados que llegan a saturarse du-

rante episodios de precipitaciones intensas. Todos los países han referido cambios en los patrones de precipitación acompañados por cambios en el uso del suelo en cuencas urbanas aledañas, así como cambios de uso de suelo debido a la deforestación, que ocasionan un aumento en la erosión y arrastran cargas grandes de sedimentos a las ciudades. Las características geográficas de Centroamérica la hacen especialmente vulnerable al cambio climático y se ha observado un aumento de las tasas de evapotranspiración debido al aumento gradual de las temperaturas. Muchos países de América del Norte, Central y del Sur han referido sequías que han ocasionado graves crisis en el suministro de agua potable y que han obligado a las autoridades a restringir las actividades de riego para dar prioridad al consumo humano. Se hace referencia a casos especiales de gestión de sequías y a organizaciones encargadas del abastecimiento de agua en Estados Unidos para California y el noreste de Brasil. Otro dato importante es que la mayoría de los países ha documentado casos extremos de lluvias intensas que ocasionaron inundaciones en zonas urbanas debido a sistemas de drenaje inadecuados. Se presentan ejemplos de una mejor planificación para reorganizar los sistemas de drenaje urbano en Uruguay, así como ejemplos concretos de gestión en el caso de estudio de Toronto, Canadá.

La reutilización del agua

El cambio climático y algunos episodios particulares de sequías han puesto de manifiesto que la reutilización de aguas residuales es una prioridad. También se detallan las nuevas tecnologías utilizadas para preparar aguas residuales para su reutilización y estas mismas tecnologías también pueden usarse para contribuir a la reducción de sedimentos en aguas residuales sin tratar en cuerpos receptores de agua en las ciudades. El uso de aguas residuales domésticas, residuos líquidos procedentes de efluentes industriales, escurrimientos agrícolas y aguas salobres podría llegar a ser una fuente alternativa viable de agua para determinados usos. Algunos países han puesto en práctica el almacenamiento y reutilización de agua de lluvia. Se destacó la importancia de llevar a cabo un buen monitoreo de la calidad del agua que será reutilizada con objeto de garantizar una adecuada calidad.

Eficacia de las instituciones relacionadas con el agua y aspectos legales

Se ha logrado un gran avance en la mayoría de los países con el establecimiento de autoridades competentes en materia de agua y leyes específicas que regulan los recursos hídricos y de gestión del agua. En algunos países, la eficacia de estas instituciones todavía deja mucho que desear y las leyes existentes no se hacen cumplir de manera efectiva para promover la buena gestión del agua en las zonas urbanas.

Mejora de la gestión del agua y su planificación y supervisión a nivel institucional

La mayoría de los países están conscientes de que la gestión del agua en las ciudades ha sido fragmentaria y no ha tomado en cuenta la infraestructura para gestión del agua urbana de una manera integral. Una de las propuestas supondría la incorporación de todos los elementos de gestión del agua urbana en uno solo: abastecimiento de agua potable, recolección y tratamiento de aguas residuales, y control de drenajes pluviales e inundaciones urbanas. Se propone un enfoque de planificación basado en las cuencas hidrográficas para mitigar el impacto de los flujos de clima húmedo en la calidad y cantidad del agua, incluyendo su contaminación, las inundaciones y la erosión de corrientes que ayudarían a llevar a cabo un mejor crecimiento urbano lejos de las zonas de alto riesgo como lo son las llanuras aluviales y los terraplenes. El estudio de caso de Toronto muestra la integración de la gestión del agua urbana en una sola institución a raíz de la fusión de una serie de gobiernos municipales. A todos los países se les subrayó la importancia de una gestión adecuada del agua urbana que incluya el manejo de cuencas de las zonas rurales y urbanas de los alrededores.

Argentina



Obelisco de Buenos Aires, monumento histórico e ícono de la ciudad, localizado en la Plaza de la República, Buenos Aires, Argentina. Foto: ©iStock.com/dolphinphoto.



“A pesar de su extenso territorio, en Argentina las regiones húmedas ocupan sólo un cuarto de su superficie y en el cual habitan más de dos tercios del total de sus habitantes. Las zonas áridas representan 60% del área del país, y en ellas vive solamente 6% de la población. Esta relación entre agua y población resulta exactamente inversa a la mayoría de los países de América Latina”

Agua urbana en el continente americano, el caso de la República Argentina

Raúl Antonio Lopardo
Jorge Daniel Bacchiega
Luis E. Higa

Resumen

En este capítulo se efectúa una caracterización de la disponibilidad y distribución de los recursos hídricos, destacándose su desigual distribución espacial. Se analiza el crecimiento de la población en los últimos años, destacándose que más de 90% del total del país habita sectores urbanos. Se describen las distintas fuentes de captación para la provisión de agua y se analiza el nivel de cobertura que actualmente presentan las principales ciudades del país. Si bien la cobertura de agua potable presenta porcentajes elevados, superiores a 90% en las principales capitales, el grado de saneamiento resulta dispar, con índices variables entre 35% y 80%. Se hace mención, también, a la organización de la prestación del servicio de agua potable, donde existe un régimen federal que implica la existencia de normas y regulaciones propias en cada provincia, situación que multiplica el número de prestadores en todo el país, llegando a contabilizarse un total de 1830.

Se efectúa, asimismo, un análisis particular de la situación existente en el conglomerado urbano del Gran Buenos Aires, donde habitan más de 12 millones de personas y donde se registran elevados niveles de cobertura. Se caracteriza, particularmente, el tratamiento que reciben las aguas residuales y el nivel de reúso que se hace de las mismas. Finalmente se analizan en forma particular dos impactos importantes vinculados al manejo del recurso hídrico y la elevación de los niveles freáticos, así como también a los impactos provocados por excedentes pluviométricos en los centros urbanos.

1. Introducción

La República Argentina presenta una desigual distribución espacial de sus recursos hídricos, con dos tercios de su territorio constituido por regiones áridas y semiáridas y sólo un tercio rico en cuerpos de agua, fundamentalmente superficiales, que representan 84% de las disponibilidades hídricas del país. La oferta de recursos hídricos superficiales se estima en un caudal medio de aproximadamente 26.000 m³/s (Pochat, 2005) y, considerando la población de 40.117.096 habitantes revelada en el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas del año 2010 (INDEC, 2012), resulta una relación de recursos hídricos renovables por persona de aproximadamente 20.500 m³ anuales por habitante.

Si bien esta cifra es muy superior a los 1.700 m³/habitante/año que se han adoptado como de stress

hídrico o “Índice de Falkenmark” (White, 2012), ella no refleja adecuadamente la real oferta de aguas superficiales en la Argentina. Es que a pesar de la importante oferta global de agua se presentan algunos balances negativos entre demandas potenciales y disponibilidad de agua en ciertas regiones del país. Además debe considerarse que existen densidades poblacionales muy dispares en las diferentes cuencas hidrográficas (INDEC, 2012), lo que determina que importantes provincias, como Tucumán y Córdoba, tengan una disponibilidad hídrica por habitante y por año inferior al límite de stress hídrico.

La Figura 1 muestra un mapa de la República Argentina con la conformación política compuesta por 23 provincias, además de la ciudad de Buenos Aires que no constituye una provincia, sino que tiene el

Figura 1. Mapa Político de Argentina



Figura 2. Mapa de cuencas y vertientes hidrográficas



Fuente: Atlas 2010, INA

carácter de ciudad autónoma. En la misma se observa la ubicación de las provincias antes mencionadas en el centro del país.

Asimismo, en la Figura 2 se presenta un mapa con las principales cuencas hídricas y vertientes hidrográficas. Ambos mapas corresponden al *Atlas 2010, Cuencas y regiones hídricas superficiales de la República Argentina*, del Instituto Nacional del Agua, Subsecretaría de Recursos Hídricos.

Las regiones húmedas ocupan 24% de la superficie del país, pero concentran alrededor de 70% del total de sus habitantes, mientras que las zonas áridas representan 61% del área nacional, pero sólo contienen 6% de sus habitantes. Esta característica entre agua y población es exactamente inversa a la de la mayoría de los países de América Latina.

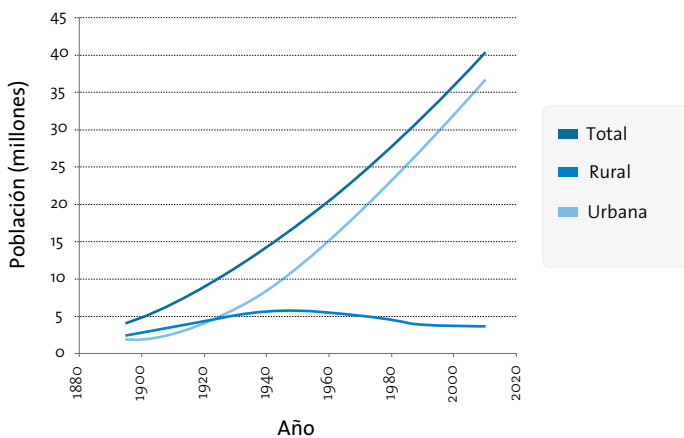
Aunque en las regiones áridas y semiáridas del país los recursos hídricos subterráneos son esenciales, no existe información suficiente de estos recursos en la totalidad del ámbito nacional. La información disponible se refiere a acuíferos locales, especialmente en las áreas de Cuyo, el Noroeste y la región Pampeana (Aquastat, 2000). La reciente creación del Plan Nacional Federal de Aguas Subterráneas en la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH, 2012) seguramente contribuirá a la generación de la información necesaria para una gestión integrada de este importante recurso. La Argentina presenta una amplia distribución de acuíferos de características diversas a lo largo y ancho de su

geografía, lo que permite la provisión de agua para consumo humano, sobre todo en gran parte de las localidades del interior del país. Sin embargo, el mayor consumo sigue siendo el de riego para la producción agrícola.

El Plan destaca que la gestión sustentable de las aguas subterráneas es fundamental para evitar la disminución de los volúmenes almacenados o la reducción de superficies de humedales, mantener la vida útil de las perforaciones, velar por su calidad y la temperatura de las explotaciones termales o evitar las modificaciones en la superficie del terreno, entre otros efectos indeseables de un uso no sustentable. Este Plan Nacional se encuentra en su primera fase de ejecución, avanzándose en la conformación de la base de datos hidrogeológicos, la continuación de estudios en el Sistema Acuífero Guaraní en la Argentina y la participación diversa en acciones sobre acuíferos transfronterizos y cuencas interjurisdiccionales.

El crecimiento no controlado del consumo de aguas superficiales y subterráneas, tanto en el campo industrial como en el productivo, con efluentes vertidos sin tratamiento y un desarrollo desorganizado de importantes asentamientos poblacionales marginales, determinó que a comienzos de este siglo se observara un considerable grado de deterioro del recurso hídrico, como consecuencia de la inadecuada explotación del mismo y del vertido e infiltración de sustancias contaminantes. Ello tuvo como consecuencia problemas en el desarrollo de la vida acuática, en la aparición o incremento de enfermedades transmitidas por el agua, el desmejoramiento de las condiciones para el desarrollo de distintas actividades recreativas y el incremento en los costos de potabilización del agua.

Figura 3. Evolución de la población en Argentina



2. Algunos apuntes sobre población urbana

La población de los grandes centros urbanos de la Argentina tuvo una evolución claramente creciente respecto del total de la población total argentina. La Figura 3 permite observar que en los últimos años la concentración urbana ha mantenido una tasa de crecimiento positiva, con un marcado decrecimiento de la correspondiente a la población rural.

Según información del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INDEC (2011), los datos poblacionales de Argentina se pueden resumir en el siguiente listado:

- Población total: 40.117.096 habitantes (49% masculina)
- Tasa de crecimiento poblacional: 1,036%
- Tasa de natalidad: 18,6‰
- Tasa de mortalidad: 7,6‰
- Expectativa de vida: 76,8 años
- Población urbana en centros de más de 2 mil habitantes: 89,31% (48,27% masculina)
- Población rural en centros de menos de 2 mil habitantes: 3,40% (50,81% masculina)
- Población rural dispersa: 7,28% (54,02% masculina)

La información proveniente del INDEC indica que la población total estimada para el 1 de julio de 2014 sería de 42.669.500 habitantes, de los cuales 48,9% pertenecería al sexo masculino y la tasa de crecimiento se mantendría en el orden de 1% anual.

Según la misma fuente, los diez aglomerados más importantes del país ya suman 21,050.797 habitantes, es decir que 52,47% de la población total del país (más de la mitad) se concentra en estos centros de atracción.

Cuando se plantea el tema de los grandes aglomerados urbanos, surge la discusión acerca de la efectiva definición de lo que se entiende por el “Gran Buenos Aires”. Por ese motivo, el INDEC propuso en 2003 que ese conglomerado urbano se considere compuesto por la ciudad de Buenos Aires más veinticuatro partidos que la rodean, pertenecientes a la provincia de Buenos Aires.

Sin embargo, se ha dado en llamar “Aglomerado Gran Buenos Aires” a la ciudad homónima más treinta partidos de la provincia de Buenos Aires que, total o parcialmente, integran la “envolvente de población” que conforma el aglomerado (INDEC, 2003). Considerando sólo la suma del Gran Buenos Aires y el Gran La Plata, el “aglomerado” Gran Buenos Aires representaría 35,85% del total de la población argentina.

Aunque no se cuenta con información precisa al respecto, es evidente que el crecimiento demográfico en las ciudades que concentran gran número de habitantes –y en particular en el Gran Buenos Aires– se ha producido en las zonas suburbanas, en general

por migración interna o inmigración de algunos países vecinos que forman asentamientos, en algunos casos con severos problemas de servicios de agua potable y saneamiento y de riesgo ante excesos hídricos. Las figuras 4 y 5 muestran una imagen satelital y un plano con la división por partidos del denominado aglomerado de Buenos Aires.

Figura 4. Aglomerado Buenos Aires. Imagen Satelital



Figura 5. Aglomerado Buenos Aires. Delimitación física y partidos (INDEC, 2003)



3. Tipos de fuente de provisión de agua

Por su gran repartición espacial, su estabilidad estacional e interanual y sobre todo la alta flexibilidad que permite su explotación, las aguas subterráneas están ampliamente utilizadas en todos los sectores socioeconómicos. Su uso se extiende desde el pequeño pozo domiciliario para las necesidades domésticas de una familia en el suburbio de Buenos Aires hasta la batería de 118 pozos de riego del Valle de Tulum (Provincia de San Juan) capaces de brindar un caudal de 24 m³/s, pasando por los pozos que captan el acuífero Paraná con agua altamente salinizada pero apta para los usos industriales.

En la Tabla 1 se presentan valores estimados de los usos consuntivos del agua extraída en el país entre 1993 y 1997 (Calcagno *et al.*, 2000).

La media nacional de la contribución de las aguas subterráneas en la cobertura total de las demandas, del orden de 30%, no refleja la importancia del papel de estos recursos. Así, en el sector del riego, son las reservas de agua subterránea aquellas que aseguran una regulación plurianual y que en su momento permitieron superar los periodos de sequía, como el de la etapa de 1967 a 1972, compensando la falta de recursos superficiales.

La repartición y ocurrencia de los sistemas acuíferos del territorio continental de la Argentina está condicionadas por la estructura geológica y los factores climáticos e hidrográficos. Se distinguen así cuatro grandes regiones hidrogeológicas (INCYTH, 1991): valles intermontanos, llanura chaco pampeana, meseta misionera y mesetas patagónicas.

Transcribiendo la bibliografía específica (Banco Mundial, 2000), la característica esencial de la región de los valles intermontanos, que incluye la cordillera

de los Andes y la precordillera, consiste en importantes rellenos sedimentarios clásticos que constituyen sistemas acuíferos con permeabilidad alta en el pie de monte y media a baja en el centro de los valles y en profundidad. La región abarca principalmente el noroeste y la región cuyana (provincias de Jujuy, Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja, San Juan, San Luis y Mendoza), con clima árido y semiárido. El funcionamiento de los sistemas acuíferos está estrechamente ligado a la hidrología de los ríos, cuyas escorrentías constituyen la principal recarga natural de estos sistemas. Se distinguen acuíferos con descarga hacia cuencas endorreicas, como los de la Puna, del cono de deyección tucumano y de los valles de Catamarca y Tunuyán y los sistemas acuíferos con descarga hacia la planicie aluvial que tiende a desembocar en el océano Atlántico como son los asociados con los valles y abanicos aluviales de los ríos Mendoza, Atuel, Diamante y San Juan.

La región de la llanura chaco pampeana presenta acuíferos en sedimentos clásticos de extensión regional. La morfología dominante es la llanura que varía de ondulada a deprimida y alta. Una parte se sitúa en la zona litoral y mesopotámica, correspondiendo a las provincias de Formosa, Chaco, Corrientes, Santa Fe y Entre Ríos; la llamada zona central o pampa gringa, que comprende las provincias de Santiago del Estero, Córdoba y La Pampa, y la otra se circunscribe a la provincia de Buenos Aires y el aglomerado de Buenos Aires. En un clima predominantemente húmedo, los sistemas acuíferos tienen como principal componente de su recarga la infiltración de las precipitaciones. Los recursos de agua subterránea de la región provienen esencialmente del extenso sistema acuífero llamado Puelches, que incluye tres acuíferos superpuestos e intercomunicados: el Epipelches o Pampeano, el Puelches y el Hipopuelches o Paraná.

Tabla 1. Extracciones de agua por uso y fuente entre 1993 y 1997

Usos consuntivos	Agua superficial		Agua subterránea		Total	
	10 ⁶ m ³ / año	% respecto del total de agua empleada para el uso	10 ⁶ m ³ / año	% respecto del total de agua empleada para el uso	10 ⁶ m ³ / año	% del uso respecto del total extraído
Riego	18	75	6	25	24	71
Ganadero	1	34	2	66	3	9
Municipal	3,5	78	1	22	4,5	13
Industrial	1,5	60	1	40	2,5	7
Total	24	---	10	---	34	100

Fuente: Calcagno *et al.*, 2000.

La Región de la Meseta Misionera incluye la provincia de Misiones y parte de la de Corrientes. Los acuíferos comprenden los basaltos de baja permeabilidad y las areniscas de la Formación Misiones. Estas últimas forman parte un mega-acuífero, conocido como el Acuífero Guaraní, con una extensión estimada a 1.500.000 km², que ocupa parte de los territorios de Brasil, Paraguay, Uruguay y Argentina.

La Región de las Mesetas Patagónicas presenta un clima árido, con precipitaciones bajas o nulas. La región se extiende desde la Tierra del Fuego hasta el Río Colorado, incluyendo las provincias del Neuquén, Río Negro, Chubut, Santa Cruz y Tierra del Fuego. Los sistemas acuíferos comprenden las formaciones de rodados patagónicos, las mesetas basálticas y sobre todo los valles aluviales de los ríos que nacen en el sur de la Cordillera de los Andes.

En particular, la provincia de Buenos Aires se caracteriza por ser parte de una vasta llanura que ocupa aproximadamente unos 270.000 km² en la que habita más de un tercio de la población del país. Las mayores pendientes se encuentran en las zonas de los cordones serranos de Tandil y Ventana, que ocupan alrededor de 10% de la superficie del territorio. En la Figura 6 se muestra un mapa de la provincia de Buenos Aires (INA, 2010).

En el resto de la provincia domina una topografía extremadamente plana, con pendientes del orden de uno por mil, y escasa altura con respecto al nivel del mar. Esta característica hace que el agua de lluvia tenga pocas posibilidades de circular sobre la superficie del terreno, por lo que la mayor parte del agua precipitada vuelve a la atmósfera mediante la evaporación y la transpiración de las plantas, y otra parte se infiltra en el suelo y recarga los acuíferos. En los períodos lluviosos los excesos de agua alimentan los acuíferos, produciendo un ascenso del nivel de las aguas subterráneas. En muchas ocasiones el agua aflora a nivel de suelo produciendo grandes lagunas superficiales que son características de las fuertes inundaciones de carácter semipermanente que han afectado, en numerosas oportunidades, a esta región. Luego, la Provincia de Buenos Aires contiene en el subsuelo una enorme cantidad de niveles de agua subterránea factibles de explotar (Bonorino *et al.*, 2009).

Sin embargo, en la actualidad los grandes centros urbanos del país se nutren de recursos de agua superficiales. En particular, las grandes urbes sobre

los ríos Paraná y de la Plata abastecen a su población ribereña a través de tomas de agua fluviales con sistemas de potabilización de gran escala.

4. Agua potable y saneamiento básico en ciudades argentinas

Se considera que 80% de la población de la Argentina cuenta con conexión domiciliar a una red de agua potable y que 53% posee conexión domiciliar a red de alcantarillado sanitario, proporción que se amplía a 90% cuando se consideran sistemas de saneamiento mejorado.

Los treinta y dos aglomerados urbanos, que conforman más de 70% de la población urbana nacional, poseen una cobertura media de agua potable por red de 96% de los habitantes y una cobertura de alcantarillado sanitario por red de 68% de los habitantes, estando el aglomerado de Buenos Aires por debajo de este promedio (83% y 58% respectivamente).

En la República Argentina el promedio nacional de producción de agua por habitante servido se estima en 380 litros diarios por habitante, con un rango amplio de variación entre distintas provincias que oscila entre un máximo de 654 litros diarios por habitante en la Provincia de San Juan y un mínimo de 168 litros diarios por habitante en la Provincia de La Pampa. El agua no contabilizada constituye uno de los principales problemas de eficiencia en los servicios de agua potable. Se calcula que las pérdidas en la red y la subfacturación por conexiones clandestinas y desactualización de los catastros de usuarios, representan entre 35% y 45% del agua producida, por lo que se calcula que la dotación promedio en la Argentina se encuentra alrededor de los 250 litros diarios por habitante. Este alto nivel de consumo, comparado con el que se registra en numerosos países del mundo y de América Latina, en buena parte se explica por el bajo grado de micro medición de los consumos que prevalece en los sistemas de la Argentina, sobre todo en la mayoría de los servicios de las grandes ciudades en los cuales la facturación a los usuarios se basa en regímenes tarifarios del tipo de “canilla libre”. En este sentido, según antecedentes internacionales, el consumo medio que registran los sistemas que operan con micro medición es del orden de los 180 litros diarios por habitante (OPS, 1999).

Tanto en los niveles de cobertura de agua potable como de saneamiento se registran grandes disparidades regionales y provinciales, así como entre áreas urbanas y rurales. En el caso del servicio de agua potable se observa que la cobertura a través de conexión domiciliaria ha aumentado 10% en los últimos quince años. Este aumento en la cobertura refleja que ha permitido sustituir en parte otros tipos de provisión a favor de conexiones domiciliarias. En el caso del servicio de alcantarillado, se observa que la cobertura a través de conexión domiciliaria se ha mantenido constante en los últimos años, implicando que la cobertura ha ido creciendo a la par que la población. Por otra parte, la población sin cobertura ha descendido a favor de otros tipos de provisión distintos a la domiciliaria. En Argentina el mayor problema ambiental relacionado con el agua es consecuencia de un limitado tratamiento de efluentes y la pesada herencia de la falta de una adecuada planificación urbana. En la periferia de Buenos Aires la ocupación de los valles de inundación de los ríos Matanza-Riachuelo y Reconquista, como así también de arroyos y afluentes, tiene vinculación estrecha con la contaminación de la franja costera sur del Río de la Plata y de parte del Delta del Paraná. Las fábricas instaladas en esos valles, en los que los controles son muy complejos, en general no tienen historia en el tratamiento de sus efluentes. Adicionalmente, los asentamientos irregulares (que aquí se denominan "villas") no cuentan en su totalidad con servicios adecuados de provisión de agua y saneamiento, lo que contribuye a la contaminación. En el caso emblemático de la cuenca Matanza-Riachuelo se presentan variados problemas hídricos y ambientales: inundación de zonas residenciales y fabriles, desagües de asentamientos que no cuentan con servicios de saneamiento, recolección y procesamiento de basura con técnicas que no respetan normas de

higiene, seguridad y preservación de la salud y cierta informalidad en actividades industriales. Sobre la cuenca tienen jurisdicción compartida el Gobierno Nacional, el Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, la Provincia de Buenos Aires y varios municipios de esa provincia. La creación de la Autoridad de Cuenca del Río Matanza-Riachuelo (ACUMAR) ha facilitado sensiblemente la coordinación de acciones de distintos organismos, intentando consensuar una estrategia única con visión de conjunto, sin la cual será imposible revertir los procesos de degradación urbana y ambiental.

Otro problema hídrico ambiental que enfrentan las zonas urbanas en Argentina es la contaminación del agua subterránea. En la mayor parte del país la gestión del agua subterránea ha sido poco eficaz, por lo que se cuenta sólo parcialmente con información cuantitativa que permita evaluar el estado actual de los acuíferos y las tendencias en cada uno en materia de calidad del agua. La responsabilidad de la gestión del agua subterránea pertenece a los gobiernos provinciales, que en general no disponen de apoyo financiero y humano suficientes para gestionar un recurso que es mucho menos visible que el superficial.

Según el INDEC, en el último trimestre del año 2006 (EPH-IV Trimestre 2006, INDEC) las coberturas de los treinta y dos aglomerados urbanos, cuya población urbana es equivalente a 70% de la nacional, tenían una media de acceso por red a agua potable de 96% y su cobertura de saneamiento alcanzaba 68% de los habitantes.

En la Tabla 2 se observa que la menor cobertura en el servicio de agua potable corresponde al ámbito del Gran Buenos Aires (83%), pues aunque la zona de la capital federal tiene una cobertura casi total, como se ha expresado previamente se incluyen zonas suburbanas de fuerte ocupación y bajos recursos. Si bien para el servicio domiciliario de sanea-

Tabla 2. Cobertura de agua potable urbana en Argentina

Centro urbano	Agua Potable %	Saneamiento %
Gran Buenos Aires	83	58
Córdoba	96	35
Rosario	99	61
Mendoza	96	80
La Plata	92	68

Fuente: INDEC-EPH IV Trimestre 2006.

miento Gran Buenos Aires presenta un valor bajo (58%), el menor valor se registra en la ciudad de Córdoba (35%).

La provisión de saneamiento ha sido en el país históricamente inferior a la cobertura de agua potable por red. Esta brecha entre el servicio de agua potable y saneamiento ha sido variada según surge de la comparación de los distritos. La forma de medirlo es a través del cociente entre usuarios de agua por cada usuario de servicio de saneamiento, donde el mayor número expresa la mayor asimetría.

Las áreas urbanas marginales presentan dificultades vinculadas con la expansión de los servicios de agua potable, recolección y disposición de efluentes, así como para el mejoramiento de los suministros intermitentes y la desinfección.

5. Organización de la prestación

La distribución actual de servicio de agua y alcantarillado tiene en la Argentina una estructura similar a la del propio país. En efecto, cada provincia tiene potestad de establecer sus propias normas jurisdiccionales, decidiendo su organización institucional en el sector de agua potable y alcantarillado. Ello implica que cada provincia posee su propio marco regulatorio, básicamente estructurado en una agencia de control y un operador privado o del Estado a cargo de los servicios urbanos locales de las provincias. En varios casos hay núcleos urbanos reducidos que cuentan con proveedores pequeños, normalmente públicos y con una estructura rural a cargo de la organización del Estado.

Las instalaciones de abastecimiento de agua potable surgieron en Argentina como acción preventiva encarada por el Estado ante las epidemias de cólera que asolaron la ciudad de Buenos Aires a fines del siglo XIX. A lo largo de tres cuartos de siglo, de 1912 a 1980, las inversiones y el servicio del suministro estuvieron a cargo del Gobierno nacional, a través de la compañía estatal Obras Sanitarias de la Nación (OSN), siendo el único órgano responsable del diseño, la construcción y la operación de esas instalaciones.

En 1964 se creó un nuevo organismo –Servicio Nacional de Agua Potable (SNAP)– para financiar y agilizar la expansión de servicios en áreas rurales. Este fue el inicio de una serie de programas financiados por el Banco Interamericano de Desarrollo y apoyo económico de la Nación y las Provincias. Además, se sentaron las bases para la formación de 1,500 cooperativas que tomaron a su cargo la prestación en localidades pequeñas y medianas. En el año 1980 el Gobierno nacional descentralizó los servicios de OSN y los transfirió a las respectivas provincias. Los activos fueron transferidos libres de deudas o cargos, pero con la obligación por parte de las nuevas compañías de encontrar la ecuación económica, que permitiera financiar los gastos de operación y las inversiones de renovación y expansión del servicio.

El llamado Programa de Reforma del Estado, entre 1989 y 1990, se caracterizó por una transformación generalizada en la organización de los servicios públicos, basada en la incorporación de compañías privadas en la administración de esos servicios, principalmente en las grandes ciudades, que hasta entonces eran operados por compañías e instituciones públicas. La estructura organizacional fue completada con la formulación de normas establecidas en un marco regulatorio y la creación de agencias

Tabla 3. Prestadores de agua potable urbana en Argentina

Tipo de prestador	Nacional	Provincial	Municipal	Total
SA Pública	1	8	0	9
Sociedad del Estado	0	3	2	5
Ente autárquico	0	1	10	11
Ente centralizado	0	4	377	381
SA Privada	0	7	10	17
Cooperativa	0	0	639	639
Agrupación vecinal	0	0	768	768
Total	1	23	1.806	1.830

Fuente: ETOOS, 2003

especializadas y autónomas para la regulación y el control de la prestación de los servicios. Además, a nivel gubernamental se creó el Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENHOSA) que tiene jurisdicción en todo el país, cuya misión es la de organizar, administrar y ejecutar programas de infraestructura que deriven de las políticas nacionales del sector agua potable y saneamiento básico.

La más importante concesión a una empresa privada fue suscrita en 1993 para el área metropolitana de Buenos Aires con un consorcio liderado por la firma francesa Lyonnaise des Eaux-Suez, denominado Aguas Argentinas, S.A. Durante el periodo de 1991 a 2000, alrededor de veinte servicios fueron privatizados en Argentina, incluyendo las ciudades más importantes como Santa Fe y Rosario (Aguas Provinciales de Santa Fe, S.A.), Córdoba (Aguas Cordobesas, S.A.), La Plata y Bahía Blanca (Azurix S.A.) y Tucumán (Aguas del Aconquija, S.A.). Este modelo mostró su primera crisis con algunos procesos fallidos en 1997, cuando se rescindió el contrato de concesión en Tucumán, y luego en 2002, en la Provincia de Buenos Aires. Los servicios en ambos casos regresaron a ser responsabilidad estatal.

Después de la crisis macroeconómica y la devaluación del año 2002, se produjo un proceso generalizado de renegociación de contratos de concesión de servicios públicos. Más adelante se rescindieron los contratos con las empresas concesionarias en Santa Fe (2006), en el área metropolitana de Buenos Aires (2006) y Catamarca (2008). De esta forma, las empresas sanitarias privadas en Argentina pasaron de tener una participación de cerca de 70% de los usuarios conectados a la red de agua potable a mediados de la década de 1990; a menos de 30% en la actualidad. Se destaca que esa participación había sido sólo de 13% antes de las privatizaciones, debido a la presencia principalmente de cooperativas y asociaciones vecinales.

Melina Tobías (2012), al analizar los resultados alcanzados tras más de una década de prestación privada del servicio, observa una gran disparidad entre las metas previstas originalmente y las efectivamente alcanzadas. Los datos existentes para el año 2001 muestran que Aguas Argentinas, S.A. apenas cumplió con 19,2% de las inversiones consensuadas (Azpiazu, 2010). En cuanto a los objetivos de cobertura previstos en provisión de agua potable, que debía alcanzar un valor de 88%, sólo cubrió 79%.

En lo que se refiere a desagües de saneamiento, la cobertura alcanzada fue de 63%, cuando el objetivo fijado correspondía a un valor de 74%. Los peores resultados son aquellos vinculados al tratamiento primario de aguas servidas, pues el contrato de concesión establecía la meta de 74%, y solo se concretó 7% (ETOSS, 2003).

Es interesante destacar que en la actualidad se estima que existen 1.830 prestadores de servicios de agua potable de los cuales 365 proveen además servicios de saneamiento básico. La Tabla 3 muestra la clasificación por naturaleza jurídica del prestador y el nivel de decisión o jurisdicción.

6. Servicio de agua y saneamiento en el Gran Buenos Aires

Diversos motivos han provocado en el pasado un atraso en la realización de importantes obras de expansión e infraestructura y en los niveles de cobertura en el área de la concesión. Frente a esta situación, la gestión de la empresa estatal AySA, junto con el apoyo del Gobierno nacional, se propuso el diseño y la implementación de un Plan Director tendente a reducir el déficit y alcanzar el objetivo de universalización de los servicios, cumpliendo de esta manera con los objetivos propuestos por las Metas del Milenio establecidas por la Organización de las Naciones Unidas (ONU).

Las principales acciones del plan consisten en desarrollar infraestructura básica, ampliar las instalaciones existentes y renovar y rehabilitar las redes. Las obras centrales en materia de agua potable son la construcción de la planta potabilizadora "Paraná de las Palmas" con una inversión de más de 17 millones de pesos, para servir a dos millones de personas en el partido de Tigre en un período que se extiende hasta el año 2020 y la creación de la planta de ósmosis inversa "Virrey del Pino" en el partido de La Matanza, que posee una gran densidad demográfica con habitantes de bajos recursos. En cuanto a los desagües cloacales, el plan de AySA contempla la creación de una nueva planta depuradora de efluentes en el partido de Berazategui, que permitirá mejorar notoriamente la calidad de las aguas que llegan a la Ciudad de Buenos Aires y al conurbano bonaerense.

Para lograr la extensión de la red cloacal, AySA planifica modificar la distribución actual de la red, construyendo un gran colector subterráneo que correrá en dirección paralela por la margen izquierda del Riachuelo e interceptará gran parte de los efluentes que hoy, a través de las cloacas máximas, recibe la cuenca Berazategui. Esta obra es de vital importancia para ampliar el nivel de cobertura en la zona sur del conurbano bonaerense, ya que el nuevo colector permitirá aliviar los caudales de la cuenca Berazategui, cuya capacidad se encuentra actualmente saturada, y así tendrá mayor capacidad para recibir nuevos efluentes provenientes de las zonas que se incorporen a la red (AySA, 2010, "Informe al usuario").

Mientras la región de mayores ingresos per cápita y mayor consolidación urbana presenta una cobertura plena del servicio, los partidos del Gran Buenos Aires presentan niveles muy inferiores al de la ciudad capital (Merlinsky *et al.*, 2011).

Estas grandes obras de infraestructura promovidas por AySA se proponen solucionar el problema de la cobertura en el mediano y largo plazos. Sin embargo, la crítica situación sanitaria de algunas regiones del área del Gran Buenos Aires, agravada por efectos de la pobreza y los efectos negativos que esta tiene en las condiciones de vida de las personas, exigieron a la empresa la elaboración de acciones locales tendientes a expandir los servicios de agua y cloacas en los barrios de bajos recursos.

Para ello AySA contó con dos estrategias: el Modelo Participativo de Gestión y los denominados plan "Agua+Trabajo" y plan "Cloaca+Trabajo", tendientes a fomentar la interacción de la empresa, en tanto principal fuente de financiamiento de los proyectos, con los vecinos –que aportan la mano de obra– y el municipio –encargado de brindar algunos insumos materiales y de llevar adelante la dirección técnica de las obras. En el caso de estos planes los actores involucrados son: la empresa AySA, encargada del diseño del proyecto y del financiamiento y la supervisión técnica de las obras; las cooperativas barriales, que ofrecen mano de obra para la realización de las obras; los municipios, actores impulsores de los proyectos y entes ejecutores de las obras, otros organismos del Estado como el Instituto de Asociativismo y Economía Social (INAES), encargado de prestar asistencia técnica y legal para la conformación de las cooperativas y organizaciones tales como el Sindicato Gran Buenos Aires de Trabajadores de Obras Sani-

tarias (SGBATOS), destinados a proveer capacitación a los cooperativistas (AySA, 2011).

Tras seis años de iniciada la gestión estatal en la prestación del servicio, la cobertura dentro del área de concesión alcanza, en el caso del agua potable, a 8,1 millones de habitantes mientras que en lo que se refiere a las cloacas, son 5,7 millones las personas que cuentan con el servicio (AySA, 2010). Según los datos provistos por la empresa, el número de beneficiarios de los planes "Agua+Trabajo" y "Cloaca+Trabajo" hacia fines de 2010 alcanzaba a un total de 1.021.825 habitantes, correspondiendo más de 90% al primero de ellos.

Por otra parte, en la primera revisión quinquenal de tarifas (2001) se introdujo el concepto de tarifa social, estableciendo para su financiación un fondo de 4 millones de pesos por año, que se constituyó mediante un subsidio cruzado aportado por la totalidad de los usuarios de la concesión, para aquellos usuarios residenciales de bajos recursos que no pudieran afrontar el pago de su factura (Lentini, 2007)

7. Aguas residuales y reúso

Puede realizarse una primera aproximación del volumen de aguas residuales municipales descargado a las redes de alcantarillado, considerando que según el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas de 2010 la población era de 40.117.096 habitantes, que 48,8% de las viviendas particulares poseía desagüe cloacal, que había 11,317,507 viviendas particulares, 12.171.675 hogares, que la cantidad de habitantes por hogar era de 3,3 habitantes y que 12,2% de hogares compartía vivienda (INDEC, 2012). Por lo tanto, adoptando una dotación promedio para el país de 0,3 m³/ (hab.día) y un factor de reducción de 0,8 (80% del agua abastecida y utilizada es descargada a la red de alcantarillado), el volumen de aguas residuales descargado a la red de alcantarillado puede estimarse en unos 1,596 x 10⁶ m³/año.

Información de comienzos del presente siglo indicaba que solo 10% del volumen total de los efluentes domésticos recolectados por los sistemas de desagües cloacales eran tratados por un sistema de depuración (Calcagno *et al.*, 2000). Se consideraba que las principales limitaciones que tenía el país para el tratamiento de las aguas servidas eran las

prioridades establecidas para el sector y los recursos económicos y financieros disponibles, en particular, teniendo en cuenta los compromisos asumidos por la Argentina con la firma en el año 2000 de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) de las Naciones Unidas.

Así, en la normativa ODM 8 “Asegurar un medio ambiente sostenible”, se han fijado, entre otras, las siguientes metas globales:

- Reducir en dos tercios la proporción de la población sin acceso a agua potable entre los años 1990 y 2015.
- Reducir en dos terceras partes la proporción de la población sin acceso a desagües cloacales entre los años 1990 y 2015.

En este sentido, la Argentina entre los años 2000 y 2009 casi triplicó la inversión social en el rubro “agua potable y alcantarillado”, pasando de 0,9%, respecto del total en el año 2000 a 2,3% en 2009 (ODM Argentina, 2010).

Con respecto al destino de las aguas residuales, incluyendo el reúso agrícola, todavía no existe en el país una reglamentación que establezca los presupuestos mínimos aplicables a todas las jurisdicciones. En tal sentido, el Congreso Nacional tiene en estudio varios proyectos, pero todavía no han obtenido el consenso necesario para su sanción. Uno de ellos es el proyecto de Ley Nacional para el Reúso de Aguas Residuales (Sartor *et al.*, 2012).

La provincia de Mendoza posee una reglamentación específica para el reúso agrícola de líquidos residuales tratados (DGI, 2003). También algunos municipios están avanzando en la reglamentación del reúso de líquidos residuales tratados para fines específicos, por ejemplo, el municipio de Puerto Madryn, en la provincia patagónica de Chubut, a través de la Ordenanza N° 6.301/2006, “Reúso de efluentes cloacales tratados” (municipio de Puerto Madryn, 2006a) y el Anexo I del Reglamento (Municipio de Puerto Madryn, 2006b).

Cabe destacar que no se cuenta aún con reglamentación específica para el control de calidad de productos regados con aguas servidas. Se considera que la implementación en el ámbito de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación del Plan Estratégico Agroalimentario (PEA2 SsRH) impulsará la adopción de herramientas que mejoren el uso del agua, incluyendo su reúso, para la producción de alimentos.

De acuerdo con el Censo Nacional Agropecuario del año 2002 (INDEC, 2002), la superficie total utilizada con fines agrícolas en el país era de 33.491.480 hectáreas (aproximadamente 19% de la superficie total cultivable), de las cuales solo 1.355.601 hectáreas eran efectivamente regadas (aproximadamente 4% del total). Mendoza es la provincia con la mayor superficie regada (267.889 hectáreas), equivalente a aproximadamente 19,8% de la superficie total regada en el país.

Las principales plantas de tratamiento de la provincia Mendoza son las de Campo Espejo y El Paramillo. Ellas procesan casi 80% de los líquidos residuales domésticos que se tratan en la provincia. Ambas emplean sistemas de lagunas de estabilización. En la planta depuradora de Campo Espejo se tratan unos 140.000 m³/día (1,7 m³/s) que se emplean para regar aproximadamente 2 mil hectáreas mediante reúso directo (Fasciolo *et al.*, 1998), y que eventualmente riegan indirectamente más de 10 mil hectáreas a través del canal Jocoli (Barbeito Anzorena, 2001). La planta depuradora El Paramillo trata unos 91.000 m³/día (1 m³/s), que se utilizan para regar en verano alrededor de 1.800 hectáreas (Álvarez *et al.*, 2008).

De acuerdo con la información disponible (Fasciolo *et al.*, 1998; Barbeito Anzorena, 2001; Álvarez *et al.*, 2008) y a la superficie total regada en la provincia de Mendoza (INDEC, 2007), menos de 2% de esa superficie se riega mediante reúso directo de aguas residuales tratadas.

Cabe destacar que la Resolución N°400/2003 del Departamento General de Irrigación de la provincia de Mendoza, en su Capítulo 12° fija los métodos de riego permitidos dentro del Reglamento de Área de Cultivos Restringidos Especiales (ACRE): por melgas sin pendiente, por surcos sin desagüe al pie, por riego subsuperficial y por riego localizado, y prohíbe de manera expresa el riego por aspersión, pivote o similar que proyecte el efluente hacia la atmósfera.

8. Impacto urbano por el ascenso de aguas subterráneas

Numerosas localidades del conurbano bonaerense han sufrido a principio de este siglo la elevación progresiva de niveles freáticos, discutiéndose los orígenes del fenómeno, la relevancia individual de sus

causas y las responsabilidades emergentes. Como elemento adicional, las aguas que surgen tienen graves problemas de calidad. En breve síntesis, los problemas individualizados por el ascenso incontrolado de las aguas serían los siguientes: inundación de sótanos aun en zonas de terreno elevado, problemas de fundaciones en diverso tipo de estructuras, afloramiento de agua en zonas bajas con terrenos inundados, revenimiento de pozos ciegos, aguas contaminadas en contacto con la población, destrucción de pavimentos y, en definitiva, un severo deterioro de la calidad de vida (Bianchi y Lopardo, 2003).

De acuerdo con algunas explicaciones preliminares, el fenómeno podría estar asociado con un incremento de la pluviometría y factores climáticos. Según otras, es producto de acciones antrópicas como la falta de cloacas en las zonas afectadas, la importación de agua a través de cañerías de agua potable que provienen de fuentes exteriores a la cuenca, la fuerte disminución de provisión de agua a través de pozos domiciliarios, la eliminación de provisión de agua industrial mediante pozos locales y la sistemática retracción de la provisión pública de agua potable de origen subterráneo.

Se ha efectuado un estudio particular circunscrito a una región en estado de "emergencia hídrica" en el Partido de Lomas de Zamora, ubicado en la zona sur del Gran Buenos Aires, con una superficie aproximada a los 88 kilómetros cuadrados y una muy elevada densidad de población que pasó de 574.330 en el año 1991 a 627.806 en 2003. Lomas de Zamora se encuentra ubicado en una región baja de la cuenca del río de la Matanza, lo que presenta características poco eficientes respecto de la red de drenaje natural hacia el sistema Matanza-Riachuelo y le confiere al partido una mayor vulnerabilidad respecto de regiones del conurbano bonaerense situadas en superficies medias y altas.

El elevado crecimiento poblacional se ha producido sin contar con el consecuente incremento de la infraestructura básica de saneamiento, por lo que las causas antrópicas interfieren también negativamente con las de origen natural, como el aumento de las precipitaciones pluviales. En el año 1991 la red de agua potable servía a 69,9% de la población del partido de Lomas de Zamora, mientras que la red de cloacas atendía sólo 22,7%. Es muy relevante comentar que en la actualidad la red de agua potable supera 90%, pero el origen de la misma es superficial, a través de

la importación mediante conductos de gran porte proveniente de plantas de tratamiento del Río de la Plata. Por otra parte, la red de cloacas ha sido postergada en el plan de trabajos de la concesión, manteniéndose en un servicio que sólo beneficia a 33% de la población del partido. Deben además sumarse como otros factores antrópicos específicos en este partido la deforestación, la desarticulación del cordón industrial (que así requiere mucha menor agua de bombeo) y el citado cambio de la fuente de abastecimiento de agua potable, que presenta un doble impacto. En efecto, al dejarse de bombear desde el acuífero aumentan las presiones en el mismo y al incorporar agua a la región sin obras anexas de desagües cloacales y pluviales es mayor la incorporación al suelo.

La explotación del acuífero "Puelches" se inició en 1920. La expansión de su uso para abastecimiento público e industrial provocó una tasa de extracción que superó ampliamente la recarga natural, produciendo conos de depresión que llegaron en 1975 a tener ápices a -35 m y -40 m (Santa Cruz, 2000). La zona de mayor explotación del acuífero coincidió con la de mayor espesor del mismo. El desarrollo de mayor magnitud de los conos de depresión se produjo hacia el sureste del partido, donde se localizaban los pozos de abastecimiento público y en la zona sur, que era el área con mayor desarrollo industrial. Esta sobreexplotación del acuífero y el deterioro de la calidad (incremento en la concentración de nitratos) fueron las causas para el progresivo abandono de la provisión por agua subterránea para uso doméstico. Cuando se abandona ese servicio de provisión, se pasa de 114 pozos activos en 1990 a sólo 13 en el año 2001. Además, las industrias redujeron drásticamente sus extracciones, a causa de la recesión económica de ese entonces, por lo que se produjo una recuperación de los niveles piezométricos, cambiando la dimensión y ubicación de los conos.

La disminución o suspensión del bombeo domiciliario afectó fundamentalmente a la zona noreste. En esta zona, en el período 1991-1995, el bombeo era de 16,1 Hm³ y en el período 1996-2000 el bombeo se redujo a 7,5 Hm³, que representa únicamente 34% de los volúmenes ingresantes en forma antrópica. Esta disminución en la capacidad de descarga fue producto del cambio de fuente de abastecimiento. En definitiva, las variaciones del nivel freático tuvieron diferentes causas y grado de afectación de acuerdo a su ubicación geográfica. A su vez, asociando el compor-

tamiento del nivel freático con dichas ubicaciones, se distinguieron diferentes patrones de funcionamiento de acuerdo con características topográficas, grado de urbanización, desactivación de perforaciones (tanto para agua potable como para la industria), importación de agua, desarrollo y antigüedad de las redes de agua potable, cloacales y pluviales. Estas características dieron lugar a la generación de un concepto nuevo, que permitió ordenar el tratamiento de la problemática, y que se definió como de “zonas homogéneas” (Bianchi *et al.*, 2005). Se trata así de la determinación de áreas o zonas en las que los movimientos verticales (recarga o descarga) de la superficie freática se producen a partir del predominio de un factor específico, ya sea de origen natural o antrópico. Se considera que debido a las bajas pendientes en donde se desarrolla el área metropolitana, los movimientos verticales son preponderantes por encima de los horizontales.

Esta experiencia demostró la necesidad de profundos estudios de la influencia natural y antrópica con anterioridad a desarrollar cambios de fuentes de provisión de agua potable en zonas con saneamiento incompleto.

9. El problema del exceso de agua en los grandes centros urbanos

Sin duda que el gran desafío que enfrenta el país en materia de agua es el de brindar una cobertura integral de agua potable y saneamiento a toda la población, principalmente a la gran concentración urbana de la Capital Federal y su conurbano. No obstante, este conglomerado urbano presenta, en relación con el agua, otro desafío no menor vinculado al manejo de los excedentes hídricos.

La ocurrencia en los últimos tiempos de diversos eventos de inundación en distintas ciudades del área metropolitana en particular, como así también de la provincia de Buenos Aires, pone de manifiesto un desafío de la misma envergadura y criticidad que aquel vinculado al manejo y distribución del agua para consumo. Este desafío se vincula a la capacidad de analizar en forma integral las causas, efectos y soluciones relacionadas con un desarrollo urbano cre-

ciente, donde la esencia del problema se centra en la ocupación no planificada de los valles de inundación de ríos y arroyos.

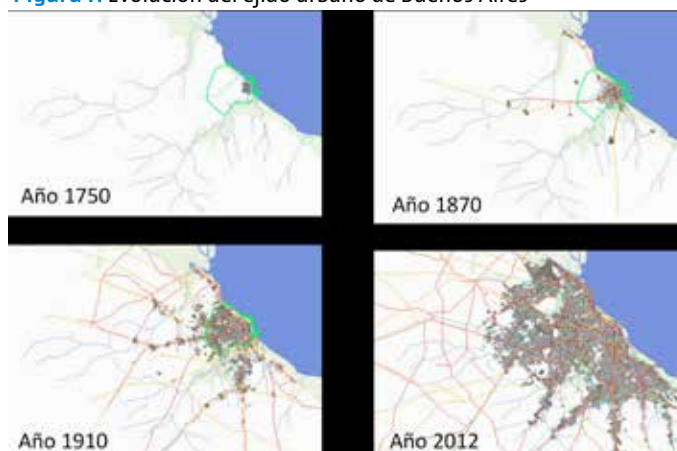
La Vulnerabilidad estructural de los centros urbanos

Este progresivo avance de los ejidos urbanos da el marco a una vulnerabilidad estructural que no desaparece aún con la ejecución de grandes obras de saneamiento.

En efecto, si bien durante años se ha desarrollado una razonable convivencia entre los rasgos naturales de típicos sistemas fluviales con los usos y costumbres de la población, la visión de progreso de fines del siglo XIX y comienzos del siglo XX impulsó un rápido avance de la urbanización sobre los cursos de agua, que finalizaron en la materialización de entubamientos o intervenciones específicas sobre los cursos originales que pusieron un velo que pretendió sepultar los rasgos naturales del sistema en pos del desarrollo de barrios, infraestructura y servicios. El dilema de ocupación de terrenos próximos a los cursos de ríos (típicamente llanuras de inundación) es conocido desde épocas remotas sustentado por las bondades que la presencia próxima a un curso de agua implica para el desarrollo de una población, aun a sabiendas de los perjuicios que una inundación puede traer aparejada. (Aradas y Bacchiaga, 2012).

Un claro ejemplo de este avance indiscriminado se muestra en la siguiente Figura 7, donde se aprecia la expansión gradual del conurbano de la ciudad de Buenos Aires desde el año 1750 hasta la actualidad.

Figura 7. Evolución del ejido urbano de Buenos Aires



Se observa cómo progresivamente los cursos de agua fueron ocupados por la infraestructura urbana que invadió no solo los valles de inundación, sino que también generó la ocupación de los propios cauces mediante el entubamiento de los mismos.

Esta situación de crecimiento indiscriminado se ha detectado en la mayoría de las ciudades ribereñas del país, en las que al menos una vez en los últimos 50 años se han detectado eventos de inundaciones catastróficas. Tales son los casos de la propia ciudad de Buenos Aires, La Plata, Villa Elisa, Luján, San Antonio de Areco, Arrecifes, Pergamino, Santa Fe, mencionándose solo algunos centros urbanos con poblaciones de entre 30 mil y 3 millones de habitantes.

La influencia de la variabilidad climática

Más allá de la vulnerabilidad estructural que presenta en relación con las inundaciones gran parte de

Figura 8. Número de casos por década con precipitaciones superiores a 100 mm/día

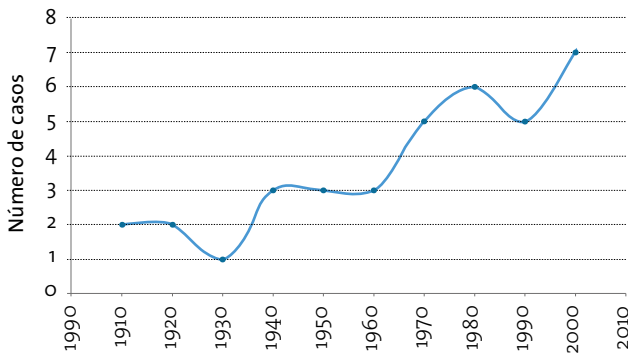


Figura 9. Variación del nivel medio del Río de la Plata (V. Barros et al., 2005)

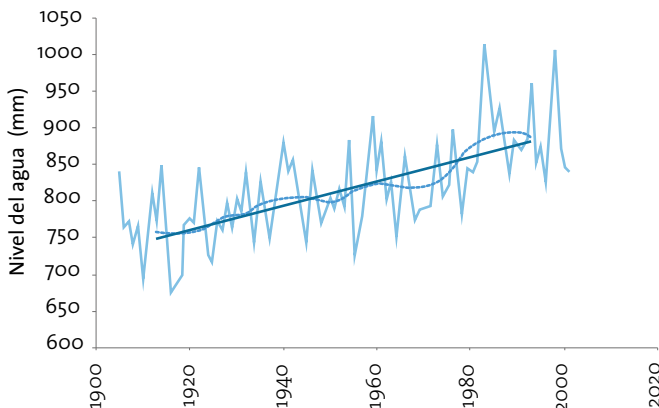


Figura 10a. Ciudades con eventos de inundaciones



los centros urbanos del país, hay aspectos complementarios que se convierten en causas paralelas al incremento de los casos registrados de inundaciones urbanas. La variabilidad climática y la tendencia de cambio de los principales parámetros meteorológicos constituyen sin duda aspectos que deben ser considerados.

Los cambios de las temperaturas medias globales pueden representar una causa primera para el incremento de precipitaciones que se han registrado en distintas regiones del mundo. En ese contexto, los registros indican que en los últimos 150 años se ha registrado un incremento de la temperatura media de la superficie terrestre, aumentando la temperatura global en 0,74°C en los últimos 100 años y alrededor de 0,4°C en los últimos 25 años, período en el cual las observaciones son más confiables (Camillón, AABA, 2010).

Junto con la variación de la temperatura registrada en forma global, en la Argentina en general, y en el entorno del Gran Buenos Aires en particular, se han observado incrementos no poco significativos en los montos de precipitaciones anuales y diarios en la ciudad de Buenos Aires y su entorno. En la siguiente Figura 8 se aprecia el incremento de casos en distintas décadas donde se registraron en un día precipitaciones superiores a 100 mm. Se aprecia que ese número se duplicó prácticamente en los últimos 50 años.

Figura 10b. Inundaciones en centros urbanos de la región pampeana (Bacchiaga, 2012)



En el mismo sentido se han registrado cambios en otras variables vinculadas a la variabilidad climática. El Río de la Plata está experimentando un incremento de su nivel medio (Figura 9), mayormente motorizado por el aumento del nivel medio del mar. El aumento total fue de alrededor de 17 cm para el siglo XX, de los cuales aproximadamente 50% se produjo en las últimas 3 décadas (Barros y Menéndez, 2005).

En este contexto de cambio y variabilidad climática se han sucedido eventos de inundaciones en importantes ciudades del país, motorizados por lluvias de distinta envergadura. En la Tabla 4 y en la Figura 10a y 10b se muestran algunas de las ciudades afectadas en los últimos años con inundaciones severas, en un entorno del orden de los 500 km de la ciudad de Buenos Aires.

Cada uno de los eventos de tormentas señalados fueron considerados, al analizarlos en forma aislada, como eventos extraordinarios con períodos de retorno superiores de los 500 a mil años. No obstante, tal como lo demuestran los registros anteriores, se observa al menos un aumento de la frecuencia de ocurrencia en los últimos 20 años. Algunos de los centros urbanos señalados han sufrido más de una inundación catastrófica en este período, en tanto que en otros, como la ciudad de La Plata, se han registrado eventos cercanos en un corto período, como los de la propia ciudad de Buenos Aires y la cercana localidad de Villa Elisa.

La situación antes planteada relativiza, en cierta forma, el concepto de eventos extremos y extraordi-

narios que se impone cada vez que ocurre un hecho catastrófico. Del mismo modo, también se genera un gran interrogante sobre cuál es el nivel de vulnerabilidad que presenta cada centro urbano frente a eventos pluviométricos que, si bien tienen una magnitud considerable, no escapan al campo de la probabilidad de ocurrencia en cada ciudad.

Las inundaciones de los grandes centros urbanos

Las ciudades mencionadas en las que se registraron eventos de inundaciones resultan heterogéneas en cuanto a cantidad de población (entre 30 mil y 3 millones de habitantes) y también en extensión. Sin embargo, su denominador común es que están asentadas en valles de inundación de cauces naturales, manifestando en esta condición su vulnerabilidad intrínseca.

El factor común que presentan todos estos centros, y en particular las ciudades de Buenos Aires y La

Tabla 4. Ciudades cercanas a Buenos Aires con inundaciones severas

Ciudad	Precipitación (mm)	Año de ocurrencia
Buenos Aires	100-200	1984-1995-2000 2001-2010-2013
Pergamino	200-436	1995-2009-2011
Santa Fe	400-500	2003-2007
S.A de Areco	250	2009-2011
Villa Elisa	240	2008
La Plata	390	2013

Fuente: ETOOS, 2003.

Plata como testigos de eventos catastróficos recientes, radica en su progresivo desarrollo a la vera de diversos cursos naturales de agua. Estos esquemas de desarrollo urbano se repiten en todos los casos en los que se han registrado procesos de anegamiento en los últimos años, por lo que imágenes como las siguientes resultan la consecuencia inevitable de la ubicación relativa de las ciudades, independientemente de la magnitud de las precipitaciones a las que pueden estar sometidas.

Es por ello que puede afirmarse que la inundabilidad es, en la mayoría de los casos, un reflejo de la vulnerabilidad de base de las ciudades y de la puja entre el desarrollo urbano y la impronta natural geomorfológica de la red natural de desagües. Un ejemplo claro de esta combinación de efectos lo

constituye la propia ciudad de Buenos Aires, donde su crecimiento a lo largo de décadas creció en terrenos correspondientes a 11 cuencas de aporte que originalmente drenaban sus excedentes hacia cauces naturales hoy entubados y fuertemente urbanizados. En la Figura 11 se muestran las principales cuencas hidrográficas existentes en el casco urbano de la ciudad de Buenos Aires.

De las cuencas señaladas, las correspondientes a los Arroyos Medrano, Vega y Maldonado resultan las de mayor vulnerabilidad como consecuencia de la densidad de población y de infraestructura urbana que presentan. Las áreas de riesgo y los alcances de las inundaciones registradas siguen las características geomorfológicas naturales.

En la Figura 12 se muestra la conformación geomorfológica de la ciudad de Buenos Aires y las correspondientes zonas de mayor riesgo, según los mapas de riesgo elaborados en el Plan de Ordenamiento Hídrico de la Ciudad de Buenos Aires (Consortio de Consultoras, 2004).

Estos procesos de anegamiento e inundaciones traen aparejados severos problemas económicos, sociales y ambientales. Si bien esta temática ha sido abordada durante años en cuanto al análisis de causas y soluciones, la cuantificación económica de sus efectos ha sido en rigor escasa.

En la ocupación indiscriminada de tierras y la modificación de las pautas del escurrimiento en las cuencas hídricas y de amortiguación del agua de precipitaciones pluviales, no se tuvo en cuenta la pluviosidad, geomorfología, hidrología, topografía (con niveles de terreno por encima del mar que re-

Figura 11. Ciudad de Buenos Aires. Cuencas Hidrográficas



(GCBA, 2013)

Figura 12. Buenos Aires: Rasgos geomorfológicos y áreas de riesgo de las Cuencas Medrano, Vega y Maldonado

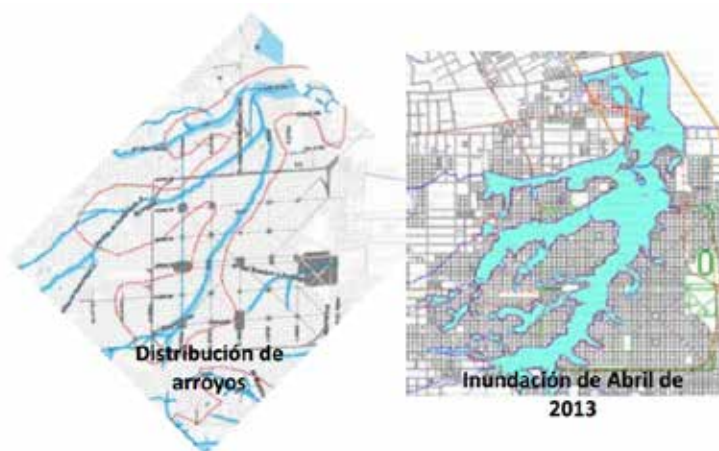


sultan variables entre 4 y 24 m aproximadamente). Los aspectos sociales y económicos se ven agravados frecuentemente por la contaminación de las aguas que ingresan desde los partidos de la provincia de Buenos Aires, donde se desarrollan importantes áreas industriales. Esta contaminación se centra en el arrastre de agroquímicos usados en las actividades agrícolas y en efluentes líquidos vertidos por establecimientos industriales, así como por la degradación de las costas y de las aguas del Río de la Plata, cuyos impactos integrales negativos aún no se han estudiado en profundidad (Kreimer *et al.*, 2004).

Como problemática común planteada en la ciudad de Buenos Aires, y extensible a otros centros urbanos del entorno, resulta que en las áreas en las que se registra mayor frecuencia de inundación coinciden, en general, con las de mayor concentración de pobreza. Esto incrementa la vulnerabilidad de los sectores con menores recursos económicos.

Un caso semejante al de la ciudad de Buenos Aires lo constituye la ciudad de La Plata, capital de la provincia de Buenos Aires. Esta ciudad, situada a

Figura 13. Ciudad de La Plata. Inundación del año 2013



60 km al sur de la Capital Federal, fue proyectada previamente a su fundación en el año 1882. Se construyó directamente sobre los valles de inundación de tres arroyos cuya geomorfología marcó el desarrollo de la severa inundación registrada en el mes de abril del año 2013.

Figura 14. Vulnerabilidad estructural en la descarga del Arroyo del Gato – La Plata



Figura 15. Vulnerabilidad estructural en la descarga del Arroyo Maldonado – La Plata



En la Figura 13 se muestra el emplazamiento del arroyo del Gato y los alcances de la inundación registrada, siguiendo la impronta de la geomorfología del mismo (Aradas y Bacchiega, 2013).

En esta inundación se afectaron más de 2500 ha, centrándose la inundación en los valles de los cursos naturales, independientemente de la distribución de calles, avenidas y conductos pluviales.

Al igual que en el caso de Buenos Aires, en la ciudad de La Plata también las áreas y zonas de mayor afectación se corresponden con sectores más vulnerables socialmente, donde las capacidades de conducción de los arroyos se ven fuertemente limitadas por la progresiva ocupación de sus márgenes.

Figura 16. Cuencas Hidrográficas del Aglomerado Sur de Buenos Aires

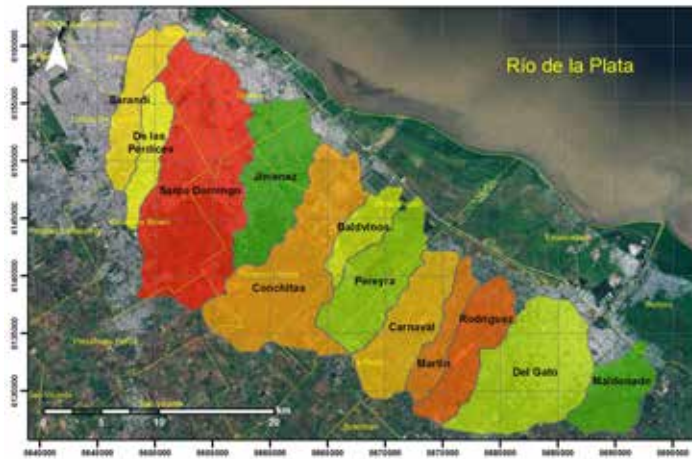
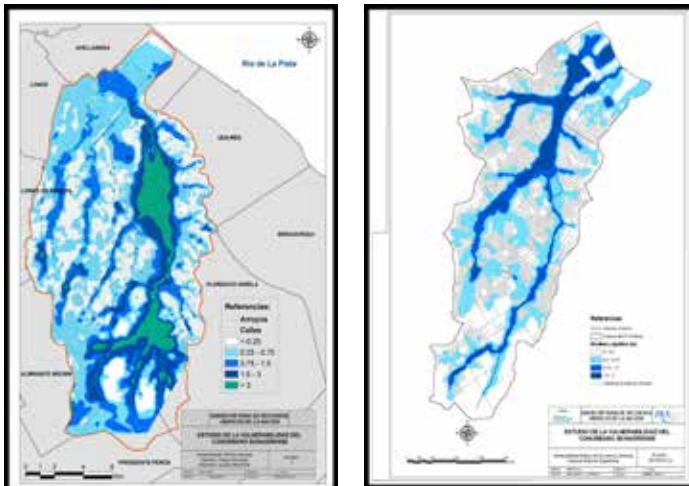


Figura 17. Alcances de inundaciones en cuencas del sur de la ciudad de Buenos Aires



Cuenca de Sarandí

Cuenca de Jiménez

En las figuras 14 y 15 se muestran la zona de descarga del Arroyo del Gato y zonas vulnerables del Arroyo Maldonado.

Existe, en el tramo de 60 Km que separa la ciudad de Buenos Aires, una concentración de población de más de 3 millones de habitantes, asentados en zonas igualmente inundables que aún no han sufrido procesos de anegamiento.

En la Figura 16 se aprecian las cuencas hidrográficas existentes entre Buenos Aires y la ciudad de La Plata, donde se han desarrollado una profusa infraestructura urbana, con elevados niveles de vulnerabilidad. En cualquiera de ellas que se hubieran registrado eventos como los de la Capital Federal o el registrado en la ciudad de La Plata en el año 2013, se hubieran registrado consecuencias aún más catastróficas. Estudios realizados por el Instituto Nacional del Agua (2014) permitieron establecer los alcances máximos de las inundaciones que se hubieran registrado en estas cuencas con un evento de 390 mm, similar al ocurrido en la ciudad de La Plata. En la Figura 17 se muestran las zonas de mayor riesgo en las cuencas de los arroyos Sarandí, Santo Domingo y Jiménez.

Frente a esta problemática común en gran parte de las ciudades de la República Argentina, debe destacarse que el concepto tradicional de imponer la ejecución de obras de conducción y retención, como único camino de solución a esta problemática, debe dar paso a nuevos conceptos de gestión y planificación que incluyan aspectos vinculados a la inundabilidad, al riesgo hídrico, a las medidas de acción estructurales y no estructurales, generándose pautas claras para una gestión integrada entendiendo que la problemática de las inundaciones constituye un tema que atañe y afecta a toda la sociedad en su conjunto (Aradas y Bacchiega, 2012).

Es por ello que la aludida vulnerabilidad intrínseca de los centros urbanos debe condicionar los esquemas de protección adoptados, el análisis del riesgo y, por ende, las pautas para la toma de decisiones y la definición de esquemas integrales de análisis que contemplen seriamente una adecuada combinación de medidas estructurales y no estructurales. Este aspecto, de difícil concreción en la mayoría de los casos, constituye el principal desafío para alcanzar una adecuada reducción del riesgo frente a los excedentes hídricos urbanos.

El desafío de la gestión integral del riesgo hídrico en centros urbanos de la Argentina

El concepto de vulnerabilidad estructural de los centros urbanos tiene su origen en la posición relativa de la infraestructura urbana respecto de los valles de inundación de cursos naturales que existían en forma previa al desarrollo urbanístico. Sin embargo, a esta condición natural se agrega la fuerte interacción de otras circunstancias ambientales, socioeconómicas y políticas que determinan, finalmente, la condición de inundabilidad a la que estará sometida la población. Este conjunto de elementos, sumado a la aleatoriedad de las precipitaciones o crecidas que dan origen al problema, determinan la necesidad de encuadrar los niveles de protección de las ciudades a través de un análisis de riesgo integral que vincule todos los elementos puestos en juego y determine la eficacia de las distintas acciones concretas a considerar.

Los procesos de inundación registrados en la mayoría de los centros urbanos ribereños de la República Argentina, con las consecuentes pérdidas económicas y humanas, reflejan la necesidad de abordar esta problemática en forma integral, considerando al problema de los excedentes hídricos en un rango tan crítico como el correspondiente a su déficit.

La gestión del riesgo de inundación propone mitigar los riesgos de inundación a un nivel aceptable o tolerable, ya sea reduciendo la frecuencia con la que ocurre la inundación y reduciendo las consecuencias de ella a través de la disminución de la exposición y/o reduciendo la vulnerabilidad. En la mayoría de los casos, el riesgo de inundación se puede mitigar pero raramente es posible eliminarlo.

Los casos antecedentes mencionados, y en particular la ciudad de Buenos Aires, presentan factores comunes en cuanto a los niveles de protección existentes previos a la inundación y a las reacciones medidas tomadas posteriormente a la misma.

- En todos los casos los niveles de adecuación de infraestructura hídrica se encontraban sin su completa implementación.
- Soluciones estructurales proyectadas y no siempre materializadas con grados de protección previstos que en pocas ocasiones superan los 5 años de recurrencia de diseño, con excepción de la ciudad de Buenos Aires cuyas obras fueron previstas para 10 años.

Figura 18. Construcción de túneles aliviadores en la ciudad de Buenos Aires



- Baja percepción del riesgo por parte de la población que habita las zonas inundables.
- Escasa o nula implementación de medidas no estructurales.
- Bajos niveles de previsión en las acciones durante la emergencia.
- Acciones estructurales no planificadas y no contextualizadas posteriores a la emergencia.

Estas características de las soluciones adoptadas hasta el presente, con la excepción del Plan de Ordenamiento Hídrico desarrollado en la ciudad de Buenos Aires, debe orientar el análisis de la problemática de inundabilidad hacia un abordaje integrado que reconozca explícitamente que asentamiento y drenaje se influyen mutuamente, reconociéndose el hecho que aún las obras que se puedan construir con el mayor nivel de protección posible, no cambiarán

sustancialmente la vulnerabilidad estructural de los centros urbanos inundables.

Un ejemplo de ello lo constituye la cuenca del Arroyo Maldonado en la ciudad de Buenos Aires, donde recientemente se construyeron dos túneles aliviadores, de 6,90 m de diámetro y más de 5 km de longitud, debajo del entubamiento existente. Estos túneles fueron construidos a más de 20 m de profundidad por debajo de la superficie de la ciudad, interconectándose con el entubamiento actual. El elevado costo de inversión de esta obra se justifica para reducir las consecuencias de inundaciones provocadas por tormentas que tienen una recurrencia de 10 años. En ese contexto, aún con esta obra ya terminada, se han mitigado en parte los efectos generados en inundaciones normales, pero no se ha cambiado la vulnerabilidad intrínseca social y urbana que seguirá existiendo para tormentas de mayor recurrencia.

Tomando el ejemplo anterior, puede decirse que durante muchos años la evaluación de proyectos clásica permitió encontrar un adecuado equilibrio entre los modelos estadísticos de estimación de recurrencias de eventos extremos y el análisis técnico económico de obras de mitigación (medidas estructurales), muchas veces requerido para respaldar la factibilidad de financiamiento de los montos de inversión asociados. Esto redundó en la materialización de obras que rara vez supera los 20 años de recurrencia. No obstante, este modelo de análisis se complejiza ante la aparición cada vez más recurrente de una fenomenología de eventos extremos y el desafío de lograr un equilibrio entre un modelo más economicista y un modelo más social que fuerce un aumento de los estándares de protección.

Es indudable que el patrón de decisión debe girar en torno a una priorización de las medidas no estructurales sobre las estructurales, sin que ello implique minimizar los efectos positivos que éstas tienen en un amplio abanico de recurrencias de eventos intensos. Es por ello que finalmente es prudente considerar estas recomendaciones en el desarrollo futuro de planes de acción en centros inundables de la República Argentina (Aradas y Bacchiega, 2013):

- Desarrollar planes integrales a nivel de cuenca donde no los hay y luego darle continuidad a su implementación.
- Considerar las áreas de riesgos involucrando áreas de aporte naturales que consideren a la cuenca como unidad mínima y la integración de regiones, fuera de las divisiones jurisdiccionales o políticas. Considerar la formación de comités de cuencas como organismos técnicos de control, análisis y supervisión de la problemáticas integrales.
- Profundizar la concientización del riesgo de inundación por parte de las autoridades y, principalmente, de la población en riesgo, estableciendo el concepto de vulnerabilidad estructural como eje rector del planteo de soluciones estructurales y no estructurales.
- Planificar el uso del suelo poniendo en su justa medida la “seguridad” que brinda una obra;
- Diseñar y verificar las estrategias de intervención para un amplio espectro de eventos de manera de reconocer explícitamente la incertidumbre inherente a los procesos meteorológicos.
- Considerar los antecedentes existentes en regiones homogéneas como antecedentes propios en cada centro urbano a los fines de planificar en conjunto acciones de mitigación.
- Adoptar un criterio de escorrentía adicional “cero” para todo nuevo desarrollo urbano, de manera de preservar el estándar de infraestructura existente; es decir que cada nuevo desarrollo debe absorber y gestionar internamente el excedente de escorrentía que el nuevo desarrollo impone.
- Contar con registros meteorológicos que permitan una correcta interpretación de los aspectos temporales y espaciales de los eventos de tormenta.
- Revisar periódicamente las medidas propuestas en los planes directores para adaptarse a la evolución de la problemática y de la situación de la cuenca.
- Intentar hacer nuevamente más visible los rasgos geomorfológicos de los sistemas de desagüe.

10. Conclusiones

El principal desafío del país en el sector de agua potable y saneamiento es la universalización de los servicios. Es imperiosa la necesidad de abastecer a los millones de habitantes carentes de agua potable y alcantarillado sanitario. Asimismo, resulta indispensable la ejecución de obras que permitan aumentar el tratamiento de las aguas residuales y también difundir y concientizar a los gobiernos, a los profesionales y técnicos y a todos los sectores de la población acerca del uso racional del agua y de la protección de su calidad.

Esto plantea, entre otros, los siguientes retos: a) Diseñar y ejecutar planes de inversión social y económicamente sostenibles, que contemplen como prioridad la universalización de los servicios y que, en aquellos casos en que corresponda, aseguren su financiación mediante la asignación de los fondos necesarios en los presupuestos de los organismos públicos; b) mejorar la sostenibilidad económica de la prestación y lograr una mayor racionalidad del régimen tarifario; c) incrementar los niveles de eficiencia de la gestión de los operadores y de la eficacia de la coordinación entre sectores y jurisdicciones; d) perfeccionar el sistema de información sobre la gestión y resultados; e) promover la participación de la sociedad civil y de las autoridades locales. Para estos propósitos se sugieren las siguientes acciones:

- Fomentar y priorizar las inversiones en el sector, teniendo en cuenta los beneficios resultantes del impacto que ellas tienen en la salud pública, en el medio ambiente, en la economía en general, en la reducción de la indigencia y la pobreza y en la cohesión social.
- Establecer mecanismos explícitos de incentivos para la gestión eficiente de las empresas operadoras y el uso racional de los servicios. Los regímenes tarifarios deberían contener incentivos para la racionalización del consumo y de la oferta del agua, lo que podría lograrse mediante un aumento significativo de la micromedición de los volúmenes consumidos por los usuarios, así como mediante inversiones para reducir las pérdidas en las redes de agua.
- Fortalecer las funciones de regulación y control de la prestación de los servicios, asegurando la

capacidad técnica e independencia de acción de los organismos responsables de tales funciones.

- Mejorar los mecanismos legales e institucionales relacionados con la participación de la sociedad civil y de las autoridades locales, incluyendo la mejora en la difusión y comunicación de información sobre el desempeño de los operadores y autoridades de control, así como intensificar, fundamentalmente en las escuelas primarias y secundarias, las acciones de educación sobre la problemática del agua potable y saneamiento y su importancia para la preservación de la salud pública y el ambiente.

Paralelamente a los problemas planteados en el sector de agua y saneamiento, Argentina enfrenta un fuerte desafío en el manejo, control y gestión de los excedentes hídricos en los centros urbanos. Se ha demostrado que la existencia de intensas precipitaciones registradas en lugares cercanos y con períodos de ocurrencia menores a 20 años, demuestran que las grandes inundaciones no son problemas poco frecuentes. Sumado a ello, el creciente progreso urbano hacia los valles de inundación de ríos y arroyos ha provocado un incremento de la vulnerabilidad en la mayoría de las ciudades ribereñas.

La ciudad de Buenos Aires y otras aledañas presentan serios problemas en el manejo de excedentes hídricos vinculados al crecimiento urbano. Numerosos han sido los eventos de inundaciones registrados en los últimos 30 años, con importantes pérdidas económicas y humanas. Como ejemplo del camino a desarrollar, la ciudad de Buenos Aires ha implementado un exitoso Plan de Ordenamiento Hídrico que permitió establecer las principales causas y consecuencias de los procesos de inundación, estableciéndose pautas para la materialización de obras de conducción que mitiguen los efectos de las frecuentes inundaciones. Sin embargo, estas obras de ingeniería, con la aplicación de tecnologías avanzadas, no otorgan el resguardo total a todos los procesos de inundación que pueden presentarse en el futuro.

Es por ello que el gran desafío en el manejo de excedentes radica en el análisis integral del problema, con un adecuado equilibrio de medidas es-

estructurales y no estructurales. Esto es altamente necesario en el aglomerado de Buenos Aires, donde habita una población superior a los 10 millones de habitantes, la mayoría de los cuales desconoce el riesgo al que están sometidos frente a eventuales procesos de inundación.

Ante este problema planteado, es recomendable dar prioridad a los estudios de acciones estructurales y no estructurales que permitan mitigar los efectos producidos por excesos hídricos en zonas urbanas densamente pobladas, por ascenso de niveles freáticos y, fundamentalmente, por fenómenos de desastres debidos a lluvias extremas.

11. Referencias bibliográficas

- Álvarez, A.; Fasciolo, G.; Barbazza, C.; Lorenzo, F. y Balanza, M.E. (2008). Impactos en el agua subterránea de un sistema de efluentes para riego. El Sistema Paramillo (Lavalle, Mendoza, Argentina). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, Universidad Nacional de Cuyo, Tomo XL, N°2, pp. 61-81, Mendoza, <http://revista.fca.uncu.edu.ar/images/stories/pdfs/2008-02/T40_2_07.pdf>
- AQUASTAT (2000). Sistema de Información sobre el Uso del Agua en la Agricultura y el Medio Rural de la FAO. Argentina. Buenos Aires: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/ARG/indexesp.stm>
- Aradas, R. y Bacchiega, D. (2013). El problema de las inundaciones urbanas. *Revista del Centro Argentino de Ingenieros*.
- AYSA (2010). Informe al usuario. Buenos Aires: Agua y Saneamientos Argentinos S.A. http://www.aysa.com.ar/Media/archivos/471/Informe_al_Usuario_2010.pdf.
- AYSA (2011). Plan Estratégico 2011-2020. Buenos Aires: Agua y Saneamientos Argentinos S.A., Resumen Ejecutivo. <<http://www.aysa.com.ar/Media/archivos/468/A-Plan%20Estrategico%20AySA%202011-%202020%20Resumen%20Ejecutivo.pdf>>
- Banco Mundial, Argentina (2000). Water Resources Management, Policy Issues and Notes, Thematic Annexes. Volume III, Anexo Aguas Subterráneas.
- Barbeito Anzorena, E. (2000). *Estudio general del caso Campo Espejo del aglomerado Gran Mendoza - República Argentina*. Convenio IDRC – OPS/HEP/CEPIS. <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/proyecto/generales/casos/mendoza.pdf>>
- Barros, V. et al. (2005). *El cambio climático y la costa del Río de la Plata*. Fundación Ciudad.
- Bianchi, H.; Coriale, O. y Lopardo, R.A. (2005). Análisis por zonas homogéneas del ascenso de niveles freáticos en el área metropolitana de Buenos Aires. XX Congreso Nacional del Agua, Mendoza, Argentina, CD paper "Aguas Subterráneas" N° 4.
- Bianchi, H. y Lopardo, R.A. (2003). Diagnosis and Mitigation of Groundwater Level Rise in a Highly Populated Urban System. XXX IAHR Congress, Thessaloniki, Grecia, Vol. B, pp. 629-636.
- Bonorino, G.; Carrica, J.C. y Lafont, D. (2009). Exploración de las aguas subterráneas para suplementar el abastecimiento a la ciudad de Bahía Blanca y zonas de influencia, *Boletín Electrónico CONICET-Bahía Blanca*, N° 1, Bahía Blanca, <http://www.bahia blanca-conicet.gob.ar/boletin/index.php?option=com_content&view=article&id=68&Itemid=100>
- Calcagno, A.; Mendiburo, N. y Gaviño Novillo, M. (2000). *Informe sobre la gestión del agua en la República Argentina*. Buenos Aires: CEPAL, Naciones Unidas. <<http://www.eclac.cl/samtac/noticias/documentosdetrabajo/6/23306/InAro0200.pdf>>
- Consorcio de Consultoras (Iatasa, Halcrow, Latinoconsult, Harza UTE) (2003). Plan Maestro de la ciudad de Buenos Aires. Buenos Aires.
- Fasciolo, G.; Meca, M.I.; Vélez O. (1998). *Uso de efluentes domésticos para riego en zonas áridas. El Caso Mendoza*. AIDIS.
- GCBA (2013). Proyecto Vega. Prevención de Inundaciones y Drenaje, Marco de Gestión Ambiental y Social. Ministerio de Finanzas. Ministerio de Desarrollo Urbano. Dirección General de Infraestructura. Gobierno de la ciudad de Buenos Aires.
- INA (2010). Atlas 2010. Cuencas y regiones hídricas superficiales de la República Argentina. Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y

- Servicios, Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, Instituto Nacional del Agua.
- INCYTH (1991). Mapa Hidrogeológico de la República Argentina. Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos, Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas, UNESCO, Programa Hidrológico Internacional.
- INDEC (2007). Instituto Nacional de Estadística y Censos. Censo Nacional Agropecuario 2002. Total del país. Resultados definitivos. Buenos Aires.
- INDEC (2012). Instituto Nacional de Estadística y Censos. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. Resultados definitivos. Serie B N° 2. Tomo 1. Buenos Aires. <http://www.censo2010.indec.gov.ar/archivos/censo2010_tomo1.pdf>.
- Kreimer, Alcira; Kullock, David y Valdés Juan (2004). *Inundaciones en el Área Metropolitana de Buenos Aires*. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento. Banco Mundial.
- Lentini, E. (2007). Conflictos de la empresa prestadora con las prácticas regulatorias de los servicios de agua y alcantarillado y su impacto en la pobreza. El caso del contrato de concesión del área metropolitana de Buenos Aires. Agua Sustentable/Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (IDRC): Servicios de Agua potable, regulación y pobreza. <http://web.idrc.ca/uploads/userS/11976602573Libro_2_Servicios_de_agua_potable_regulacion_y_pobreza_Nancy_Yanez_y_Rene_Orellana_Junio_2007_.pdf>.
- Merlinsky, G; Fernández Bouzo, S; Montero, C. y Tobías, M. (2011). La política del agua en Buenos Aires: nuevas y viejas desigualdades. *Rethinking Development and Inequality, An International Journal for Critical Perspectives*. Mime.
- Municipio de Puerto Madryn (2006a). Ordenanza N° 6301, Reúso de efluentes cloacales tratado. <http://www.madryn.gov.ar/areas/ecologia/Ord6301_Reglamento_reuso.pdf>.
- Municipio de Puerto Madryn (2006b). Anexo I. Reúso de efluentes cloacales tratados. <http://www.madryn.gov.ar/areas/ecologia/Reglamento_Agua_de_reuso.pdf>.
- ODM (2010). Objetivos de Desarrollo del Milenio. Rendición de Cuentas 2010. República Argentina. Proyecto PNUD/ARG/04/046. Consejo Nacional de Coordinación de Políticas Sociales. Presidencia de la Nación, Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Argentina. <http://www.politicassociales.gov.ar/odm/pdf/informe_de_avance_2010.pdf>.
- Pochat, V. (2005). *Entidades de gestión del agua a nivel de cuencas: experiencia de Argentina*. Serie Recursos Naturales e Infraestructura N°96. Santiago de Chile, Chile. CEPAL. Naciones Unidas. <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd30/lcl2375s.pdf>>.
- Rodríguez A. *et al.* (2008). Argentina. Plan Nacional Federal de los Recursos Hídricos. Buenos Aires: Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios.
- Santa Cruz, J.N. (2000). Desequilibrium of the groundwater in Argentina. 31st. International Geological Congress (Special Symposia). Rio de Janeiro, Brasil.
- Sartor, A. y Cifuentes, O. (2012). Propuesta de Ley Nacional para Reuso de Aguas Residuales. XXVIII Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente. Buenos Aires: Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional. <http://www.edutecne.utn.edu.ar/monografias/aidis_ley_reuso_aguas.pdf>.
- SDSyPA (2002). Segundo Informe Nacional para la Implementación de la Convención de la Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación. Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental, República Argentina. <http://www2.medioambiente.gov.ar/documentos/acuerdos/convenciones/unccd/II_InformeNacional_UNCCD.pdf>.
- SSRH (2012). Plan Nacional Federal de Aguas Subterráneas. Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, Ministerio de Planificación, Inversión Pública y Servicios. Buenos Aires. <http://www.hidricosargentina.gov.ar/politica_hidrica.php?seccion=aguas_sub>.
- Tobías, M. (2012). Las políticas de agua y saneamiento en el Área Metropolitana de Buenos Aires. ¿Nuevas o viejas desigualdades? Primer Encuentro de investigadores en formación de recursos hídricos, Instituto Nacional del Agua, Ezeiza.
- White, C. (2012). Understanding water scarcity. Definitions and measurements. Water Security. Global Water Forum, May 12, 2012. <http://www.iwmi.cgiar.org/news_room/pdf/Understanding_water_scarcity.pdf>.

Bolivia



Panorámica de La Paz, Bolivia con el monte Illimani al fondo. Foto: ©iStock.com



“Bolivia es uno de los 16 países con mayor disponibilidad de agua en el mundo, la cual se estima en 30 mil 300 metros cúbicos por habitante en el año. Sin embargo, la distribución de los recursos en todo el país, por lo que respecta a espacio y tiempo, es desigual. Actualmente, el principal reto es proveer agua a 57% de la población que vive concentrada en las zonas urbanas del país”

Compendio de la situación de los recursos hídricos en las ciudades capitales departamentales de Bolivia

Fernando Urquidi-Barrau

Resumen

El presente estudio presenta un compendio del uso actual de los recursos hídricos en Bolivia, con énfasis en la administración del ciclo del agua en las ciudades capitales de los nueve departamentos del país. Está elaborado para el Programa de Aguas de la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS), y contiene algunas conclusiones y recomendaciones para las autoridades gubernamentales bolivianas que regulan y administran el agua en el país. Debido a que el Censo Nacional de Población y Vivienda 2012 (CNPV 2012), ejecutado por el Instituto Nacional de Estadística (INE), aún no ha sido totalmente publicado, se ha usado una combinación con los datos del anterior CNPV del año 2001.

1. Introducción

El Estado Plurinacional de Bolivia está dividido políticamente en nueve departamentos con sus respectivas capitales (Ver Fig. 1.1): La Paz, Oruro, Potosí, Cochabamba, Chuquisaca, Tarija, Pando, Beni y Santa Cruz. Dentro de estos departamentos hay 112 provincias con 339 gobiernos municipales autónomos.

El CNPV 2012 registra una población total en Bolivia de 10,027,254 habitantes y con un crecimiento relativo, entre el CNPV 2001 al 2012, de 21.18% y de una tasa media de crecimiento anual de 1.71%. Muestra, además, que 71.1% de la población se concentra en los departamentos de La Paz, Santa Cruz y Cochabamba. El Área Metropolitana Urbana de La Paz, conformada por las ciudades de La Paz y El Alto, conjuntamente con la ciudad de Santa Cruz de la Sierra y Cochabamba, concentran 60.2% de la población urbana. El crecimiento de la población urbana del periodo inter censal 2001–2012 es de 4.16%.

Figura 1.1 Mapa del Estado Plurinacional de Bolivia y sus ciudades capitales



El CNPV 2012 señalaba además que 57% de la población nacional habita en el área urbana y 42.5% en el área rural del país.

La Tabla 1.1 muestra a las nueve capitales, más la ciudad de El Alto (Área Metropolitana de La Paz) con los volúmenes de agua distribuidos en ellas. La ciudad de Santa Cruz de la Sierra (14.5% de la población nacional), la ciudad de La Paz (7.6%) y la ciudad de El Alto (8.5%) actualmente no tienen mayores proble-

mas en el abastecimiento diario de agua. El suministro de agua en las ciudades capitales de Cochabamba (6.3% de la población nacional), Oruro (2.64%), Sucre (2.59%), Tarija (2.0%) y Potosí (1.89%) están todavía con ciertas deficiencias. El suministro de agua en las ciudades capitales de Trinidad (1.06%) y Cobija (0.4%) tiene altas carencias y altos impactos ambientales en sus fuentes y en sus redes de distribución por cañerías que son obsoletas, afectando la calidad y cantidad del agua distribuida a su población, hasta incluso con limitaciones y restricciones horarias diarias. Es importante señalar que todas las ciudades capitales departamentales de Bolivia tienen problemas de diferente magnitud con sus sistemas de desagües y alcantarillado sanitario (doméstico y pluvial).

El CNPV 2001 registraba que 37.7% de las viviendas habitadas en el país no tenían agua distribuida por cañería de red. El CNPV 2012 muestra que este porcentaje bajó levemente a 33.9%, continuando por lo tanto como un problema nacional común a solucionarse.

1.1 Legislación y normas bolivianas sobre el agua

Frecuentemente el agua es la causa de conflictos sociales y políticos. Además, en Bolivia existe una estrecha relación entre el acceso al agua y las condiciones de pobreza de la población. El no disponer de agua limpia y segura influye directamente sobre la salud de los habitantes bolivianos y sus actividades económicas.

Tabla 1.1 Ciudades capitales departamentales

Ciudad	Número de Habitantes ²	Superficie Radio Urbano (Km ²)	Número de Viviendas ³	Volumen de Agua (Lt/día)
La Paz /El Alto ¹	1,613,457	592	370,574	187,129,000
Santa Cruz	1,453,549	567	252,136	172,800,000
Cochabamba	630,587	108	123,477	73,785,000
Oruro	264,638	28.5	49,436	27,000,000
Sucre	259,388	33.9	49,979	25,435,000
Tarija	205,349	42	36,126	35,037,000
Potosí	189,652	31	35,182	18,064,000
Trinidad	106,422	23.5	15,588	10,500,000
Cobija	46,267	19.5	4,923	2,130,000
Total Ciudades	4,769,309	1,445.4	937,421	551,880,000
Total Bolivia	10,027,254	1,098,581	1,977,665	---

Notas: ¹Área Metropolitana La Paz: ciudades La Paz (764,617 habs.) y El Alto (848,840 habs.)

Fuente: Elaboración propia con base en los CNPV 2012² y 2001³.

Bolivia aún no cuenta con una política y un Plan Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos que considere la gestión del ciclo hidrológico. La situación normativa e institucional del agua es débil, incompleta y caduca. Su marco regulatorio obsoleto no ha permitido la formación de un sistema administrativo moderno y adecuado que contemple los múltiples usos sostenibles del agua, y ha causado gran debilidad de la autoridad nacional y local de aguas.

Actualmente Bolivia todavía se administra por la Ley de Dominio y Aprovechamiento de Aguas, basada en el Decreto Supremo (D.S.) del 8 de septiembre de 1879, que fue elevada al rango de ley el 28 de noviembre de 1906 y que establece la relación entre el Estado y los recursos hídricos. Esta ley ha sido derogada en varias secciones por normas posteriores. Algunas de sus disposiciones todavía tienen vigencia, pero no son aplicadas por su desconocimiento. Existen también normativas sectoriales, promulgadas antes del año 2009 (p.e. la Ley de Riego, la Ley Forestal, la Ley del Medio Ambiente, la Ley de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario y otras), e institucionales (p.e. creación del Ministerio del Agua, hoy Ministerio del Medio Ambiente y Agua, Ley de Municipalidades, Ley de Descentralización Administrativa, etcétera). Estas leyes y reglamentaciones sectoriales establecen normas distintas –y a veces contradictorias–, que tratan la gestión del agua en forma limitada y sectorial.

Aún no se tiene una acción gubernamental, de decisión política firme y decisiva, sobre la gestión del recurso hídrico en el país, a pesar de avances normativos recientes y de que la nueva Constitución Política –promulgada el 7 de febrero de 2009– tiene 14 artículos específicos que formulan la actual visión política estatal sobre el agua. Entre éstos los más importantes son:

Artículo 373. I. *El agua constituye un derecho fundamentalísimo para la vida, en el marco de la soberanía del pueblo. El Estado promoverá el uso y acceso al agua sobre la base de principios de solidaridad, complementariedad, reciprocidad, equidad, diversidad y sustentabilidad.*

Artículo 373. II. *Los recursos hídricos en todos los estados, superficiales y subterráneos, constituyen recursos finitos, vulnerables, estratégicos y cumplen una función social, cultural y ambiental. Estos recursos no podrán ser objeto de apropiaciones privadas y tanto ellos como sus servicios no serán concesionados.*

Artículo 374. I. *El Estado protegerá y garantizará el uso prioritario del agua para la vida. Es deber del Estado gestionar, regular, proteger y planificar el uso adecuado y sustentable de los recursos hídricos, con participación social, garantizando el acceso del agua a todos sus habitantes. La Ley establecerá las condiciones y limitaciones de todos los usos.*

Artículo 375. I. *Es deber del Estado desarrollar planes de uso, conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de las cuencas hidrográficas.*

Por otra parte, el actual escenario político “de cambio” ha fomentado una predisposición del Gobierno central a atender las demandas de las organizaciones o movimientos sociales, principalmente campesinos e indígenas (originarios), en muchos casos bajo la amenaza de conflicto, abriéndose escenarios de consenso o participación más o menos formales.

La mayoría de la población boliviana rural se dedica a la agricultura y a la ganadería, actividades directamente afectadas por la disponibilidad de agua. Además, en el área rural aún prevalecen prácticas tradicionales de ordenamiento sobre el acceso y gestión del agua, basadas en los usos y costumbres (normas consuetudinarias o derecho positivo), que conviven con el derecho formal, y son soportadas por estructuras socialmente aceptadas o impuestas, que podrían o no ser respaldadas en el futuro con una legislación adecuada. Algunas comunidades originarias de la región andina tienen aún autoridades naturales para la gestión del agua elegidas anualmente.

1.2 Disponibilidad del agua

Bolivia está entre los 16 países con mayor disponibilidad de agua en el mundo, con una oferta de agua dulce estimada en 30,300 m³/habitante/año. Sin embargo, su distribución espacial y temporal no es homogénea en el territorio nacional. Existen regiones con altas precipitaciones anuales (superiores a 4,500 mm/año) y una mayor disponibilidad de agua, pero en casi la mitad del territorio nacional este recurso es escaso y existe un déficit hídrico.

Bolivia es un país de aguas arriba (91%) y aguas abajo (9%). Se estima en 303 mil millones de m³/año los recursos hídricos internos renovables, equivalentes a 9,608 m³/seg (Marka, 2009). Los estimados 650 mil millones de m³/año (FAO, 2000) de agua dulce de Bolivia fluyen y tributan a cuatro macro cuencas internas:

- a. Macro Cuenca Amazónica: Cubriendo 65,9% del territorio boliviano. A través del Río Madera escurre alrededor de 572 mil millones de m³/año hacia Brasil. En esta cuenca se asientan las ciudades capitales de La Paz/El Alto, Cochabamba, Santa Cruz de la Sierra, Trinidad y Cobija.
- b. Macro Cuenca del Plata: Cubre 20,9% del territorio. Sus ríos Pilcomayo, Paraguay y Bermejo fluyen 47,474 millones de m³/año hacia Paraguay y Argentina. Las ciudades capitales de Potosí, Sucre y Tarija se encuentran en esta cuenca.
- c. Macro Cuenca Cerrada o Lacustre: Cubre 11,4% del territorio y escurre 14,700 m³/año de los lagos Titicaca y Poopó, el Río Desaguadero (con sus ríos tributarios bolivianos y peruanos) y los grandes salares de Uyuni y Coipasa. La ciudad de Oruro está localizada en la cuenca.
- d. Macro Cuenca del Pacífico: Cubre tan sólo 1,8% del territorio con un flujo superficial casi inexistente (precipitaciones menores a 100 mm/año) y un flujo subterráneo considerable de aguas antiguas (10 mil años de antigüedad) hacia las cuencas del Océano Pacífico del Norte de Chile (Río Loa). Esta limitada macro cuenca no tiene ningún asentamiento poblacional importante.

En las tres primeras macro cuencas, de las cuatro señaladas, la calidad del agua para consumo humano y riego tiene como factor negativo principal la contaminación causada por actividades urbanas, mineras, agrícolas e industriales, que en muchos casos superan los límites máximos permitidos de concentración de sustancias nocivas, y que origina problemas medio ambientales.

A nivel nacional no se cuenta con un inventario o banco de datos de acuíferos y aguas subterrá-

neas, ni sus volúmenes de almacenamiento o recarga. Sólo existe registros de estudios y programas de prospección y evaluación de pocas zonas específicas (GEOBOL, 1985).

En general, la temperatura y las lluvias aumentan de occidente a oriente del territorio boliviano. Dependiendo de la zona, el rango del promedio anual de precipitaciones varía desde 100 mm (sudeste y sudoeste de Bolivia) hasta más de 4,500 mm (este y noreste de Bolivia). La estación lluviosa ocurre en el verano; de noviembre a marzo, de 60 a 80% de las precipitaciones ocurre durante estos 5 meses. La escorrentía se manifiesta en magnitudes importantes en la zona de llanura de la macro cuenca amazónica, pero resulta negativa cuando se producen inundaciones debido a que los caudales superan la capacidad de conducción de los cursos de agua, afectando negativamente a la actividad productiva e infraestructura. Los datos meteorológicos muestran que la macro cuenca amazónica tiene el doble de precipitación que la del Río de La Plata, cuatro veces más que el del Lacustre (Balance Hídrico de Bolivia, 1990) y la diferencia es aun mayor con la de la Macro Cuenca del Pacífico.

1.3 Usos y consumo del agua

El consumo del agua en Bolivia es estimado entre 1,240 y 2 mil millones de m³/año o sólo 0,3% de la disponibilidad estimada. La mayor demanda de agua (94%) está en la agricultura por la irrigación con canales y acequias abiertas (Van Damme, 2002). La demanda para el consumo humano está en segundo lugar, con una demanda estimada de 110 a 124 millones de m³/año. En las áreas urbanas el agua es usada principalmente para uso doméstico, y sólo siete de

Tabla 1.2 Sistemas de riego y área regada por categoría

Departamento	Micro		Pequeños		Medianos		Grandes		Total	
	Sistemas	Área (Ha)	Sistemas	Área (Ha)	Sistemas	Área (Ha)	Sistemas	Área (Ha)	Sistemas	Área (Ha)
Chuquisaca	275	1,653	373	11,370	26	4,261	4	3,884	678	21,168
Cochabamba	303	1,938	577	22,225	128	27,403	27	35,968	1,035	87,534
La Paz	263	1,703	665	21,047	28	6,052	5	7,192	961	35,994
Oruro	172	940	134	3,638	3	440	3	9,021	312	14,039
Potosí	549	3,240	392	10,146	14	2,254	1	600	956	16,240
Santa Cruz	42	269	144	5,456	44	8,434	2	1,080	232	15,239
Tarija	129	785	331	12,755	83	17,101	7	5,710	550	36,351
Total	1,733	10,528	2,616	86,638	326	65,944	49	63,454	4,724	226,564

Fuente: Elaboración propia con base en los CNPV 2001 y 2012.

las nueve capitales departamentales tienen servicio de agua permanente durante las 24 horas del día.

A pesar del incremento significativo en la cobertura del servicio de agua potable, alrededor de 33.9% de las viviendas –sobre 2.81 millones de viviendas (CNPV 2012)– aún carece de un suministro de agua potable por cañería de red. En las áreas rurales existen muchas dificultades en la provisión de agua potable, debido a la dispersión poblacional, la reducida habilidad municipal para generar y canalizar proyectos, y a la falta de interés e incentivo para la inversión privada.

La transferencia de la responsabilidad sobre la prestación del servicio de agua potable y alcantarillado a los gobiernos autónomos municipales ha generado muchos conflictos, porque el consumo humano tiene prioridad sobre los demás usos. Los mayores conflictos intra e intersectoriales se presentan con el sector de regantes, especialmente donde hay escasez del agua.

De la población boliviana, 42.5% vive en el área rural, donde la agricultura es regada por más de 4,700 sistemas de riego en funcionamiento. Como se observa en la Tabla 1.2, alrededor de 1,700 sistemas son de micro-riego y 2,600 pequeños sistemas que están bajo control directo de campesinos y comunidades tradicionales. Los derechos al agua varían en función de los antecedentes históricos de las comunidades campesinas y la forma de organización que adoptan las mismas respecto a la administración del agua y los tipos de aguas administradas. Lejos de una simple mercancía o un “bien” social y cultural, el agua es considerada como el elemento central de vida y núcleo de diversos procesos y actividades sociales y culturales.

La mayoría de los sistemas de riego en Bolivia tiene como fuente principal a los ríos (69% del área regada), a los embalses (19%), a las vertientes (6%) y a los pozos profundos y semiprofundos (6%). La minería y la industria en general son también importantes consumidores de agua, usando 31.5 millones de m³/año o aproximadamente 1% del total de la demanda nacional.

Los recursos hídricos no-consuntivos se encuentran en aproximadamente 8 mil kilómetros de cursos de ríos navegables que se encuentran en el sistema de vías de los ríos de la Macro Cuenca Amazónica, en los ríos de las vías del Paraguay–Paraná y en los lagos altiplánicos.

En el sector energético existen 68 plantas hidroeléctricas, desde pequeños sistemas con una capacidad instalada de 0.006 MW hasta otros de más de 72 MW, como Santa Isabel en Cochabamba. La capacidad total instalada de las plantas hidroeléctricas es de 308.4 MW y se generó en el año 2012 un total de 7,661 Giga Watts/hora, de las cuales 31% fueron generadas por plantas hidroeléctricas. Los caudales empleados para generación de energía hidroeléctrica varía desde 12 Lt/seg hasta 9.3 m³/seg. En el año 2000, la Empresa Nacional de Electrificación (ENDE) realizó un inventario de 81 sitios potenciales de generación hidroeléctrica con una capacidad generacional de 190 mil MW. Se imposibilita la mejora en los servicios hidroeléctricos por la falta de un programa nacional de cambio en la matriz energética (sustitución de plantas termoeléctricas) y las dificultades de establecer hidroeléctricas en medios rurales, ya que se debe negociar con campesinos e indígenas el acceso y uso de las fuentes de agua.

1.4 La administración del ciclo del agua en las áreas urbanas

Actualmente la autoridad boliviana nacional que administra la gestión del agua en las áreas urbanas y rurales es la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico (A.A.P.S.) del Ministerio de Medio Ambiente y Agua, creada por el D.S. No. 0071 de 2009 para fiscalizar, controlar, supervisar y regular el agua potable y saneamiento básico, bajo la Ley de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario No. 2066.

La A.A.P.S. está conformada por un Consejo presidido por el ministro de Medio Ambiente y Agua, y son miembros el viceministro de Agua Potable y Saneamiento Básico, el viceministro de Recursos Hídricos y Riegos y dos representantes sociales de los Comités Técnicos de Registros y Licencias (CTRL). El Consejo recibe, analiza y otorga el derecho de prestar el servicio de agua potable y/o alcantarillado sanitario, y regula las licencias y registros del uso del recurso hídrico. La Tabla 1.3 muestra las estructuras administrativas que proveen servicios locales de suministro de aguas en las capitales departamentales.

Para el sector de agua potable y saneamiento, lo urbano comprende a cuatro tipos de ciudades diferenciadas por el tamaño de la población: las metrópolis, ciudades mayores, ciudades intermedias y

ciudades menores. Según el CNPV 2012 y estimaciones del año 2005 hay tres metrópolis: las ciudades de La Paz/El Alto, Cochabamba y Santa Cruz (56.6% de la población urbana y 26.9% de la población total); nueve ciudades mayores (12.3% de la población urbana); 25 ciudades intermedias (5.5%); y 65 ciudades menores (3.2%), con una tasa de crecimiento poblacional decreciente. No hay una distinción oficial de lo periurbano en función del tamaño de la población; sólo se asume que son los alrededores de estos cuatro tipos de ciudades.

1.5 Fuentes de agua en zonas urbanas y los impactos causados por la urbanización

En las metrópolis y ciudades capitales de Bolivia (incluyendo la ciudad de El Alto), el suministro de servicios básicos –como el agua potable distribuida por cañería de red– no se ha mantenido al ritmo del crecimiento de la población o de la demanda, sino que se ha caracterizado por las bajas inversiones, el inadecuado mantenimiento y la pobre calidad de los servicios básicos. Esto ocasionó problemas de salud y un flujo discontinuo de abastecimiento del agua.

La mayoría de los servicios están en manos públicas (principalmente gobiernos municipales) y sus tarifas han sido siempre subsidiadas; no cubren los costos de operación y mantenimiento. Estas condiciones se han mantenido a pesar de los lamentables intentos de privatización en las ciudades de La Paz/El Alto (Aguas de Illimani) y Cochabamba (Aguas de Tunari-“Guerra del Agua” en el año 2000). Existe una limitada e insuficiente coordinación entre la A.A.P.S., las autoridades municipales locales y las gobernaciones departamentales.

Resumiendo, en las capitales departamentales 44% de sus servicios de agua potable y alcantarillado sanitario tienen un tipo de administración estatal (municipal); el otro 44%, una administración cooperativizada y el 12% restante una administración mixta indefinida. Por falta de fondos, el servicio no llega a toda la población por lo que surgen iniciativas locales para la construcción de pequeños sistemas o se buscan fuentes alternativas de aprovisionamiento de agua, como carros cisterna o la perforación no autorizada de pozos someros surgentes.

Las ciudades intermedias desarrollan sus propios sistemas de administración y gestión del agua

Tabla 1.3 Tipo de administración y caudal ofertado en las ciudades capitales departamentales

Ciudad	Administración	Suministro de agua	Flujo (lt/seg)
La Paz / El Alto	EPSAS S.A. (Compañía de propiedad mixta – parcialmente propiedad del Estado)	8 fuentes superficiales de agua de deshielo: Tuni, Condoriri, Huayna Potosí, Milluni, Choqueyapu, Incachaca, Ajan Khota, Hampaturi Bajo. Sistema Tilala (30 pozos de agua)	Rango: 2,011 – 3,000
Santa Cruz	SAGUPAC (Cooperativa)	Agua subterránea:	Rango: 347 – 2,067
	9 Cooperativas privadas pequeñas	Fuentes superficiales	722
Cochabamba	SEMAPA (Compañía Municipal)	Fuentes superficiales: Escalerani, Wara Wara, Hierbabuenani y Chungara	Rango: 191 – 404
		Agua subterránea: Quillacollo	462
Sucre	ELAPAS (Compañía Municipal)	Fuentes superficiales: Sistema de Cajamarca que incluyen los ríos Cajamarca, Safiri, Punilla	80
		Fuentes superficiales: Sistema Ravelo que incluyen los ríos Ravelo, Peras Mayum Jalaqueri, Murillo y Físculco	390
Oruro	Servicio Local de Acueductos y Alcantarillado - SeLA (Compañía Municipal)	Fuentes superficiales: Ríos Sepulturas y Huayña Porto	34
		Agua subterránea (Challa Pampa, Challa Pampita y Aeropuerto)	528
Potosí	AAPOS (Compañía Comunal)	Fuentes superficiales: Río San Juan y 21 lagunas (Khari Khari, Tarapaya, Irupampa, Illimani, Challuna)	220
Trinidad	COATRI (Cooperativa)	Agua subterránea	118
Tarija	COSALT (Cooperativa)	Fuentes superficiales: ríos Rincón, La Victoria, Guadalquivir y San Jacinto	574
		Agua subterránea	279
Cobija	COSAPCO (Cooperativa)	Fuentes superficiales: Arroyo Bahía	24

Fuente: Elaboración propia con base en datos proporcionados por las administradoras.

potable y del alcantarillado sanitario. Tuvieron programas como CORPAGUAS (Corporación de Aguas) que proporcionaba asistencia técnica en la organización de las mismas. El Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR) y el Fondo de Inversión Social (FIS) también proporcionaron recursos de pre-inversión. El actual Gobierno central tiene un programa de inversión para mejorar los servicios de agua en ciudades y poblaciones rurales denominado “Mi Agua”, que se encuentra en su Etapa III.

En relación con la protección del medio ambiente, la A.A.P.S. no realiza un control efectivo de los ciclos de agua. Las ciudades capitales y otras áreas urbanas medianas y pequeñas no tienen planes específicos o sistemas de control medioambiental efectivos de aguas superficiales o subterráneas. Sus programas de saneamiento se limitan a la canalización y entubación de ríos y riachuelos. Las mayores ciudades tienen programas limitados de arborización en las áreas periurbanas. Las autoridades municipales

Tabla 2.1 Distribución de agua por cañería en red en la vivienda

Departamento	% Total Cobertura	% Total Cobertura	% Total Cobertura	% Total Cobertura Área Urbana	% Total Cobertura Área Urbana
Fuente de Información	BM (1999)	INE (2001)	INE (2012)	OPS (2001)	INE (2001)
Chuquisaca	52	53.9	39.1	86.6	86.0
Cochabamba	66	53.9	54.4	70.5	68.6
La Paz	80	65.5	70.6	99.9	85.6
Oruro	74	57.5	63.6	90.3	85.6
Potosí	52	44.0	55.6	81.3	86.5
Tarija	73	75.5	81.5	90.3	90.8
Santa Cruz	83	77.7	82.3	94.2	90.4
Beni	57	35.1	40.8	---	47.6
Pando	31	38.6	32.0	---	73.5

Fuente: Elaboración propia con datos de CNPV 2001 y 2012.

Tabla 2.2 Distribución de agua en la vivienda

Sistema	Área urbana		Área rural	
	Total de viviendas	%	Total de viviendas	%
Cañería de Red	1,210,962	82.93	766,703	26.63
Pileta Pública		5.33		10.78
Pozo o Noria con Bomba		1.93		5.99
Pozo o Noria sin Bomba		3.45		22.00
Río, Vertiente o Acequia		0.93		27.65
Lago, Laguna o Curiche		0.10		2.07
Carro Repartidor (Aguatero)		3.15		0.34
Otro		2.18		1.54

Fuente: Elaboración propia con base en datos del CNPV 2001.

Tabla 2.3 Distribución de agua por cañería

Sistema	Área urbana %	Área rural %
Dentro de la Vivienda	44.78	4.86
Fuera de la Vivienda, pero dentro del Lote	46.89	47.19
Fuera del Lote de Terreno	2.03	6.35
No Tiene Distribución por Cañería	6.30	41.57

Fuente: Elaboración propia con base en datos del CNPV 2001.

Tabla 2.4 Servicio sanitario de la vivienda

Disponibilidad	Área urbana %	Área rural %
Sí Tiene	88.36	42.32
No Tiene	11.64	57.68
Modalidad de uso	Área urbana %	Área rural %
Privado	63.82	36.12
Compartido	24.54	6.20
No Tiene Baño	11.64	57.68
Desagüe del baño o letrina	Área urbana %	Área rural %
Alcantarillado	55.25	2.07
Cámara Séptica	12.51	4.08
Pozo Ciego	19.66	34.27
Superficie (calle/río)	0.94	1.90
No Tiene Baño	11.64	57.68

Fuente: Elaboración propia con base en datos del CNPV 2001.

tienen una actitud permisiva sobre los controles ambientales, y si los realizan, éstos son limitados a los puntos de contaminaciones industriales, como las cervecerías, ingenios azucareros, curtiembres y otros. Existe un seguimiento estricto a la contaminación de la minería privada de gran escala, sin prestar mayor atención a las numerosas cooperativas mineras y a la minería chica.

2. Cobertura de servicio de agua potable

En el parcialmente publicado CNPV 2012 se proveen datos estadísticos de cobertura del servicio de agua, alcantarillado y otros por departamentos (Tabla 2.1). No se tienen los datos por ciudades, por lo que no se puede hacer un análisis completo.

Los datos analizados y presentados en las Tablas 2.2 al 2.4 son del CNPV 2001. Existen grandes diferencias en la distribución de agua en las áreas urbanas y rurales, así como en la distribución por cañería de red. En el área rural, más de 43% del agua usada en las viviendas proviene de pozos, norias y flujos superficiales, como río y riachuelos.

2.1 Contaminación de las aguas urbanas

Prácticamente, todos los centros urbanos del país carecen de sistemas de drenaje doméstico y pluvial modernos. Mejoras en la pavimentación de calles y

la canalización de ríos y riachuelos son la causa de problemas mayores en el escurrimiento superficial pluvial. Constituyéndose en uno de los principales problemas que afectan el medio ambiente y la salud ciudadana, los niveles de contaminación de los ríos y riachuelos que cursan las principales capitales departamentales y otros centros urbanos intermedios y menores son elevados y preocupantes.

A. Contaminación doméstica urbana

Debido al incremento de habitantes en las diferentes ciudades, la contaminación doméstica afecta los ríos con los que tienen contacto. En estos ríos la carga contaminante de materia orgánica es extremadamente alta, estimándose a ser mayor a los 100 mg/Lt.

Sólo entre 40 y 60% de la basura doméstica o residuos sólidos es recolectada por los servicios municipales y tratados en rellenos sanitarios adecuados (ver Tabla 2.5). El resto de la basura urbana es depositada clandestinamente en los cursos de ríos, quebradas, calles y bocas de tormenta, generando el taponamiento de colectores.

Por la permanente demanda de suelos urbanizables y de nuevas vías urbanas, se han ocupado los aires de río y sus laderas. Estas ocupaciones son irregulares y fuera de norma; sin embargo, la deficiencia administrativa municipal permite ocupar estas áreas que son de alto riesgo geológico. El inadecuado control urbanístico evita que estas áreas, imprescindibles para el mantenimiento y seguridad de la infraestructura hidráulica, tengan un adecuado manejo ecológico, afectando los cursos de los ríos.

Tabla 2.5 Recolección de residuos sólidos en ciudades, según tipo de procedencia (en TM)

Procedencia	2008	2009	2010	2011
Total	873,728	954,628	995,519	1,010,192
Domiciliaria	712,998	954,629	995,519	782,339
Áreas Públicas	63,008	62,070	70,469	57,273
Mercados	52,848	59,064	73,263	68,428
Hospitales	7,254	7,309	9,642	11,267
Otros	37,620	90,627	84,158	90,885

Fuente: Reporte Estadístico de Medio Ambiente en Bolivia, 2012.

En el año 1993, JICA y HAM estimaron que 403 mil personas descargan aguas residuales al Río Choqueyapu de La Paz, lo cual equivale a una descarga de 3.0 millones de m³/año. En los centros urbanos de Santa Cruz y Cochabamba las descargas contaminantes se encuentran en el mismo orden. Hoy, con el crecimiento urbano, las descargas deben ser mayores.

La sobreexplotación de aridos en la parte alta y baja de los ríos pone en riesgo la seguridad de los taludes. También los movimientos de tierras sin autorización y los asentamientos clandestinos ocasionan erosión de taludes y mayores caudales de escurrimiento superficial, provocando deslizamientos y desastres geo-hidro-tectónicos.

B. Contaminación industrial

En Bolivia existen aproximadamente 15 mil industrias. Cerca de 90% de las mismas son pequeñas (entre 1 a 10 empleados), como talleres de tipo artesanal; 80% están ubicadas en las ciudades de La Paz, El Alto, Oruro, Cochabamba y Santa Cruz. Los principales sectores industriales son: metalúrgico, terminaciones metálicas, minerales industriales, químico, del calzado y curtiembres, industria textil, del papel y alimenticia. Generan una gran cantidad de efluentes líquidos mezclados con sólidos que se suman a la contaminación orgánica que proviene de los alcantarillados de las áreas urbanas. Generalmente, las aguas residuales industriales y las aguas servidas urbanas se mezclan y descargan en los ríos. Esto dificulta el cálculo de la contaminación que le corresponde a la industria.

El uso de agua de las actividades industriales está, en gran parte, vinculado al consumo de agua potable en las ciudades, ya que un porcentaje elevado se encuentra en el área urbana o periurbana (p.e. 67% en Cochabamba). Es muy frecuente que las fábricas o industrias cuenten con una fuente propia de agua

(generalmente un pozo somero) y tengan sólo un contrato de descarga de aguas residuales con la empresa de saneamiento básico. La falta de controles adecuados motiva que estas descargas generen procesos de contaminación importantes que, muchas veces, aguas abajo son empleadas posteriormente para consumo humano y riego en la agricultura no-industrial.

C. Contaminación minera

Históricamente la base más importante de la economía nacional fue la actividad minera. Actualmente esta actividad se concentra en la región altiplánica andina y es realizada por la estatal Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL), empresas privadas medianas y pequeñas, y por el creciente sector cooperativista minero.

Para sus campamentos e ingenios, el acceso a los recursos hídricos es parte de la concesión o contrato minero. Las aguas residuales debería ser restituidas en cantidad y calidad a los cursos originales, pero esto casi nunca ocurre. Tanto en la zona andina –con la minería tradicional– como en regiones amazónicas –por la explotación de oro con mercurio– se han generado importantes problemas de contaminación en los escurrimientos superficiales, los acuíferos superficiales y profundos.

Los ríos más afectados por la contaminación minera se encuentran en las cuencas del Río Pilcomayo (ríos Tupiza, Cotagaita, Tumusla, Pilcomayo), del Río Caine-Grande (Río Chayanta), y del Lago Poopó (ríos Huanuni, Santa Fe, entre otros).

Las actividades mineras producen los siguientes problemas ambientales:

- Generación de drenaje ácido de rocas (DAR)
- Contaminación por metales pesados de los ríos y degradación de los ecosistemas acuáticos
- Contaminación de los reservorios de agua subterránea

- Contaminación de suelos y cultivos regados con agua contaminada
- Acumulación de metales en lagos cerrados

3. Sistemas de tratamiento de aguas residuales en las ciudades capitales de Bolivia

En Bolivia, gran parte de las ciudades y poblaciones intermedias y grandes cuenta con sistemas de alcantarillado sanitario sin ningún tipo de tratamiento de aguas residuales. En la mayoría de los casos vierten el agua directamente a cuerpos receptores naturales como ríos o lagos. Sin embargo, se trata alrededor de 3 mil Lt/seg en las diferentes ciudades capitales (Tabla 3.1).

El panorama general respecto del tratamiento de las aguas residuales en Bolivia puede resumirse en tres situaciones:

- Sin tratamiento alguno se descargan directamente hacia un río o tienen letrinas
- Con tratamiento primario (tanques séptico e Imhoff)
- Con tratamiento a través de lagunas de estabilización secundarias o terciarias

La cantidad de agua residual que se genera en las ciudades capitales se detalla en la Tabla 3.2.

La Tabla 3.3 muestra un resumen de los tipos de tratamientos existentes en las capitales de departamento del país. La mayor parte de estos sistemas de tratamiento tienen capacidades limitadas o no funcionan muy bien debido a los siguientes factores:

- Condiciones climáticas (en toda la región del Altiplano las temperaturas son bajas)

Tabla 3.1 Volúmen tratado de aguas residuales según ciudad capital (en Lt/Seg)

Ciudad capital	2008	2009	2010
La Paz/El Alto	s.d.	s.d.	s.d.
Santa Cruz	1,009	1,053	1,116
Cochabamba	795	655	522
Oruro	245	750	750
Sucre	140	152	145
Potosí	13	125	132
Tarija	162	167	174
Trinidad	74	76	76
Cobija	s.d.	s.d.	s.d.
Total	2,478	3,022	2,966

Fuente: Reporte Estadístico de Medio Ambiente en Bolivia, 2012.

Tabla 3.2 Cantidad de agua residual que se genera en las ciudades capitales, 2001

Ciudad capital	Población urbana	Descarga de agua residual (Lt/Seg)	Volúmen Millones de m ³ /año
La Paz/El Alto	1,549,759	1,291.50	40.70
Santa Cruz	1,543,429	1,286.20	40.60
Cochabamba	855,277	712.70	22.50
Oruro	237,286	197.70	6.20
Sucre	217,019	180.80	5.70
Potosí	237,576	198.00	6.20
Tarija	247,690	206.40	6.50
Trinidad	244,207	203.50	6.40
Cobija	20,987	17.50	0.60
Total	5,133,230	4,294.40	135.40

Fuente: Durán *et. al.*, 2002.

- Sobrecarga hidráulica y orgánica debido a malos diseños o crecimientos poblacionales no previstos
- Falta de mantenimiento y operación por insuficiencia de recursos económicos
- Falta de proyectos para el reúso del agua tratada

El reúso de aguas residuales en la agricultura provee las siguientes ventajas: el múltiple uso de un recurso escaso, el reciclaje de nutrientes, la prevención de la contaminación de los ríos y la provisión a bajo costo de agua municipal (Van der Hoek, 2002). Sin embargo, conlleva los siguientes riesgos: a) la contaminación de los suelos con químicos y metales pesados, y b) la amenaza de que exista agua proveniente de zonas donde no hay separación entre aguas domésticas y aguas industriales. Es muy importante buscar soluciones a la contaminación urbana e industrial que optimicen los beneficios económicos para los agricultores y, al mismo tiempo, minimicen los riesgos para la salud.

3.1 Uso múltiple del agua en zonas urbanas y periurbanas

La mayoría de las ciudades capitales no realiza ningún tipo de tratamiento de potabilización de agua previo a su distribución, por lo que la calidad del agua distribuida depende sólo de la calidad de la fuente.

Los principales usuarios del agua en las ciudades capitales son la población urbana (uso doméstico), las industrias y los regantes; estos últimos gene-

ralmente ubicados en las zonas periurbanas. Existe interdependencia entre estos sectores: los regantes producen hortalizas y frutas para abastecer los mercados urbanos y riegan sus tierras con un recurso que cada vez es más escaso, gracias a la creciente demanda de los barrios poblados. Esto incrementa la presión sobre los recursos hídricos superficiales y subterráneos.

Una de las estrategias adoptadas para maximizar el aprovechamiento hídrico es el usar el agua residual urbana con fines de riego para la producción agrícola. Este uso no es universal en todo el país, sino que se realiza sólo en las regiones áridas: el altiplano y los valles. En estas regiones el uso de las aguas residuales se puede diferenciar en:

A. Uso Directo. Es decir, cuando son conducidas del desagüe (ya sea del alcantarillado o de la planta de tratamiento) directamente a las parcelas, o a partir de rupturas intencionales de las tuberías del alcantarillado para utilizarla con fines de riego. Las aguas residuales, tratadas o sin tratamiento, no tienen ninguna dilución antes de ser usadas. Esto es común en zonas áridas donde escasea el agua. Su uso es formal cuando está respaldado por un convenio u otro tipo de acuerdo.

B. Uso Indirecto. Se refiere al uso del agua de ríos donde se descargan las aguas residuales, una minoría con previo tratamiento y una mayoría no tratadas, por lo tanto, hay dilución. Ocurre en la mayor parte de Bolivia y en casi todas las áreas rurales y periurbanas que se encuentran aguas abajo de las ciudades capitales departamentales.

Tabla 3.3 Sistemas de tratamiento en ciudades capitales de Bolivia

Sistema de tratamiento	Tipo de tratamiento	Capacidad de tratamiento (en diseño) q (Lt/Seg)	Trato actual afluente q (Lt/Seg)	Efluente q (Lt/Seg)
Alba Rancho, Cochabamba (1986)	12 estanques de estabilización (8 para tratamiento secundario y 4 para terciario)	400	568	290.0
Lagunas del Parque Industrial, Santa Cruz (1980)	6 estanques de estabilización (5 en operación) en serie con tratamiento terciaria	27.2	27.1	26.7
Lagunas Norte Viejas, Santa Cruz (1970)	4 estanques de estabilización que operan en un sistema anaeróbico-facultativo	102.8	102.9	102.7
Lagunas Norte Nuevas, Santa Cruz (1989)	4 estanques de estabilización que operan en serie como un sistema facultativo-pulimento	251.7	254.9	247.0
La Tabladita, Tarija (1992)	2 estanques de estabilización (tratamiento anaeróbico primario), 2 estanques de estabilización (1 secundario y 1 tratamiento terciario)	63.4	133	108.1
Puchuckollo, El Alto	12 tanques de estabilización en 2 series, cada una con 6 estanques	446	267	248

Fuente: Elaboración propia obtenida de las plantas de tratamiento.

Tabla 3.4 Características del uso de las aguas residuales en áreas periurbanas de las capitales de departamento y en la ciudad de El Alto

Ciudad Capital	Características
Cochabamba	Uso directo del desagüe de la planta de tratamiento e indirecto por uso de las aguas contaminadas del Río Rocha
La Paz	Uso indirecto a través del desagüe del Río Choqueyapu, donde descarga el alcantarillado y la industria sin previo tratamiento
El Alto (ciudad conurbana)	Uso indirecto a través del Río Seco, donde descargan las aguas residuales de la planta de tratamiento Puchuckollo
Oruro	No hay reúso. La planta de tratamiento descarga hacia una pampa salina no apta para la agricultura
Trinidad, Cobija, Santa Cruz	No hay reúso. Son zonas con altas precipitaciones pluviales donde no se practica el riego
Tarija, Sucre, Potosí	Sin datos

Fuente: Villarroel, 2001.

La Tabla 3.4 brinda una idea de las características generales del reúso de aguas residuales en las distintas capitales departamentales del país (Villarroel, 2001).

3.2 Contaminación de las aguas subterráneas

El nivel de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas no está totalmente documentado; sin embargo, las aguas subterráneas son las más sensibles a todo tipo de contaminación, ya que las velocidades de flujos subterráneos son más bajas, casi inexistentes. Sobre la contaminación de aguas subterráneas existen datos aislados en el valle de Cochabamba (Renner y Velasco, 2000); Oruro (PPO, 1996); (Huaranca, Olivera y Neumann-Redlin, 2000), y el Altiplano Norte (ZONISIG, 2000). Otros datos se encuentran en varios informes dispersos y no publicados.

En Bolivia gran parte de las aguas subterráneas no son aptas para consumo humano o riego, debido a factores de alta salinidad. Estudios sobre la utilización del agua en el país muestran que cuando la oferta es limitada, como ocurre en las ciudades de Santa Cruz, Cochabamba y El Alto, las industrias recurren a la alternativa inmediata de perforar pozos en sus propiedades sin las autorizaciones correspondientes, ocasionando la sobreexplotación de acuíferos y dañándolos para otros usos. Generalmente éstas son aguas de baja hasta mediana salinidad y aguas bajas con sodio, que se pueden usar para la mayor parte de los cultivos en casi todos los suelos (Renner y Velasco, 2000).

Las aguas subterráneas en zonas urbanizadas (Santa Cruz, Oruro, El Alto, Trinidad) están amenazadas por la contaminación industrial, agropecuaria y, sobre todo, doméstica. En las zonas urbanas de la mayoría de las ciudades capitales, la infiltración de lí-

quidos lixiviados provenientes de rellenos sanitarios se está constituyendo en un verdadero problema.

4. Agua potable, saneamiento y salud en las ciudades capitales de Departamento

No existe un sistema inconcuso de abastecimiento de agua dulce suficiente ni potable en el país, englobando en éste término su seguridad bacteriológica. Es muy común la existencia de aguas contaminadas en las ciudades bolivianas. Esto constituye una permanente amenaza a la salud de sus habitantes y se traduce en altas tasas de enfermedades de origen hídrico, incluyendo dengue, malaria, tifoidea, salmonelosis, diarreas y parasitosis.

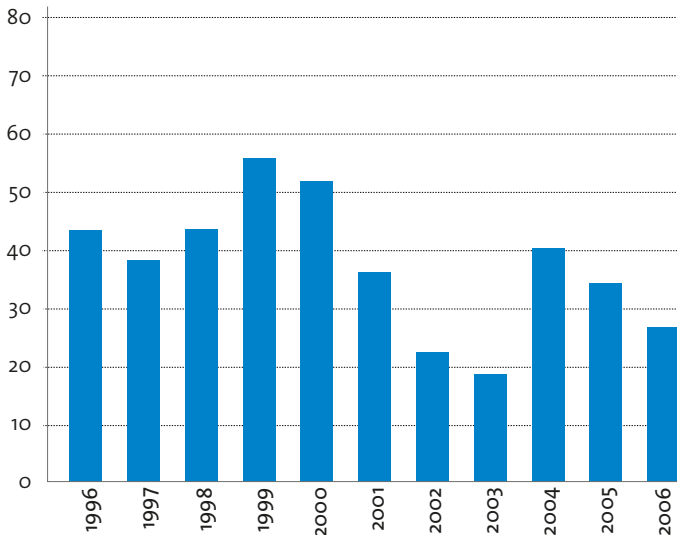
Las coberturas de agua potable y saneamiento en Bolivia aumentaron considerablemente desde 1990 con altas inversiones en el sector. Sin embargo, las coberturas siguen siendo las más bajas del continente y la calidad de servicio es mediocre. La inestabilidad política e institucional ha contribuido a la debilitación de las instituciones del sector a nivel nacional y de muchas instituciones locales. Las coberturas más bajas se encuentran en las capitales de los departamentos de Pando, Potosí, Oruro.

La inversión pública realizada de 1996 a 2006 en el sector de agua potable y alcantarillado se muestra en el Gráfico 4.1. Totalizaba USD 511 millones; sin embargo, este monto fue insuficiente para cubrir las urgentes necesidades.

Según la OMS, en el año 2000 solamente 26% de sistemas urbanos contaban con desinfección y sólo 25% de las aguas negras eran tratadas. Según

un estudio de la GtZ alemana, en 2011 únicamente 30% de las aguas negras colectadas estaba sujeto a tratamiento, y 70% de las aguas tratadas no lo estaba adecuadamente, porque las plantas de tratamiento de aguas negras no funcionaban bien.

Gráfico 4.1 Inversión anual en el sector de agua potable y saneamiento en US dólares (columna vertical)



Las últimas tres décadas han revelado la fragilidad del marco institucional del sector, ya que ha sufrido reiteradas reestructuraciones como resultado de los continuos cambios del Gobierno central. Durante el segundo gobierno de Hugo Banzer (1997-2001) se reformó el marco institucional del sector con la Ley 2029 del año 1999, estableciendo el marco legal para la participación del sector privado y formalizó la existencia de un ente regulador: la SISAB. Se dieron en concesión al sector privado los sistemas de agua y saneamiento de La Paz/El Alto a la empresa Aguas de Illimani S.A. (AISA), subsidiaria de la empresa francesa SUEZ (la entonces Lyonnaise des Eaux), en 1997, y el sistema de Cochabamba a Aguas de Tunari, subsidiaria de las empresas multinacionales Biwater y Bechtel, en 1999.

Debido a dos levantamientos populares contra la privatización del agua, el primero en Cochabamba en abril de 2000 (Guerra del Agua) y el segundo en El Alto, en enero de 2005, las dos concesiones fueron terminadas.

La plataforma política del presidente Evo Morales para las elecciones del año 2006 indicaba que:

“El agua no puede ser un negocio privado porque (si se convierte en una mercancía) se estaría violando los derechos humanos. El recurso agua debe ser un servicio público”, por lo que creó un Ministerio de Agua (hoy Ministerio de Medio Ambiente y Agua) en el marco institucional del sector definida en la Ley 2029 de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de 1999, revisada y complementada el año 2000 con la Ley 2066. El gobierno de Morales contempla una nueva ley de servicios de agua potable y alcantarillado sanitario, denominada “Agua para la Vida”, que aún no ha sido aprobada.

El Servicio Nacional de Apoyo a la Sostenibilidad en Saneamiento Básico (SENASBA) tiene la responsabilidad de la planificación y, en parte, de la implementación del desarrollo comunitario, la promoción de higiene y la asistencia técnica a los proveedores de servicios. A nivel urbano, los gobiernos municipales, directamente o a través de empresas municipales prestadoras de servicios, están a cargo de la administración y operación de los servicios. Además son responsables del desarrollo de planes y programas de expansión de los servicios para su área de jurisdicción, en coordinación con las gobernaciones departamentales.

5. Descripción de fuentes de agua en ciudades capitales departamentales

5.1 Área metropolitana de las ciudades La Paz / El Alto

En este trabajo se considera a ambas ciudades como el Área Metropolitana de La Paz/El Alto. Los criterios que intervienen en la definición del calificativo de área metropolitana son: la continuidad de la mancha urbana y los flujos de relacionamiento entre ambas ciudades, incluyendo el sistema de transporte público, la prestación de los servicios básicos de agua potable, energía eléctrica, transporte público y de comunicaciones. Esto genera un escenario de gran dinamismo que consolida la relación entre las dos ciudades; sin embargo, éstas no cuentan con las mismas calidades y coberturas de servicios públicos, en especial los referentes a la provisión y uso de agua.

5.1.1 Hidrología e hidrogeología

La configuración y la estructura física de la mancha urbana de la ciudad de La Paz están condicionadas a la red hidrográfica conformada por cinco cuencas hidrográficas que conforman la cuenca del Río de La Paz. Tiene, además, unas 350 quebradas confluentes que dan curso a ríos, riachuelos y arroyos que en época de lluvias causan deslizamientos y torrenteras sumamente peligrosas. Este sistema hídrico sirve de depósito clandestino de alrededor de 100 TM diarias de basura y escombros.

A. Cuenca del Río de La Paz. La conformación de la red de drenaje del Río de La Paz es paralela por la presencia de ríos uniformemente espaciados y relativamente paralelos de Norte a Sur; nace en los nevados de Chacaltaya con el nombre de Río Kaluyo, para luego cambiar el mismo a Río Choqueyapu, Río que cruza toda la ciudad de La Paz. Se junta con los ríos de segundo orden Orkojahuira (Chuquiaguillo, en la parte alta), Río Irpavi, Hampaturi (Khallapa y Mikhaya, en la parte alta), Río Achumani y Río Huañajahuira, para formar el Río La Paz al sur del Municipio, derivando sus aguas hacia la Macro Cuenca Amazónica. La cuenca tiene una superficie de 535 km² y abarca toda el área urbana (Núñez, 2004).

B. La Ciudad de El Alto, en pleno Altiplano boliviano y a 4,035 msnm, tiene quebradas poco profundas que cortan los sedimentos cuaternarios fluvio-glaciares, que en época de lluvias se llenan de agua y tienden a inundar las partes bajas de la ciudad. Las

más importantes quebradas tienen una dirección Norte-Sur y son casi paralelas:

- La denominada Río Seco atraviesa el camino carretero hacia el Lago Titicaca y el Perú.
- La quebrada del Río Sake que se origina en el embalse de Milluni.

5.1.2 Suministro de agua potable

El Área Metropolitana de La Paz/El Alto tiene 1,613,457 habitantes (CNPV, 2012) y un total de 370,574 viviendas, de los cuales 86.35% se abastecen de agua por cañería de red suministrada por la Empresa Pública Social de Aguas y Saneamiento (EPSAS). Según EPSAS la población servida con agua potable en la ciudad de La Paz alcanza a 764,060 habitantes, estableciendo una cobertura de 91%; no incluye alrededor de 30 mil habitantes (4,673 conexiones) atendidas por 38 cooperativas en las laderas (fuente de agua vertientes), con problemas de calidad del servicio, situación que incrementaría la cobertura a 94.5%.

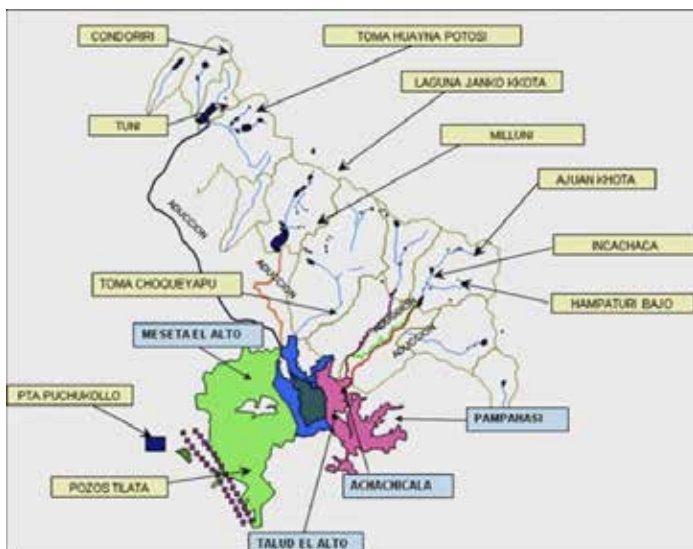
En el caso del El Alto, la población servida con agua potable es de 981,812 habitantes con una cobertura de 99% (ver Tabla 5.1 y Figura 5.2). En la ciudad de La Paz se tienen tres sistemas de distribución que reciben los flujos de agua generados del hielo que cubren las cumbres de los nevados sobre los 5 mil msnm. El sistema meseta de la ciudad de El Alto también se alimenta de aguas glaciares, mientras que el sistema Tilata depende de 30 pozos de agua subterránea.

Tabla 5.1 Área de servicio y conexiones de agua potable por sistema

Sistema	Población 2011	Área (Has.)	Número de conexiones
Achacachi	215,028	1,256	
Pampahasi	256,048	3,937	
El Alto (Talud de La Paz)	292,984	2,391	
La Paz – Pobl. Servida / Área con Red	764,060	7,583	119,044
La Paz – Proyección / Total Área	840,593	11,516	
La Paz Cobertura	90.9%	65.8%	
El Alto (Meseta)	805,688	9,133	
El Alto (Tilata)	176,124	4,311	
El Alto – Pobl. Servida / Área con Red	981,812	13,445	193,073
El Alto – Proyección / Total Área	995,144	14,748	
El Alto Cobertura	98.7%	91.0%	
Total – Pobl. Servida / Área con Red	1,745,872	21,028	
Total – Proyección Pobl. / Total Área	1,835,737	26,264	
Cobertura La Paz - El Alto / Total de conexiones	95.0%	80.0%	312,117

Fuente: Elaboración propia con base en información de EPSAS, La Paz.

Figura 5.1 Plano de Fuentes y Sistemas de Aguas del Área Metropolitana.



Fuente: EPSAS, La Paz.

El área de la cobertura de redes con cañerías de agua potable, de acuerdo con los planos de EPSAS al año 2011, es de 7,583 has. (La Paz) y 13,455 has. (El Alto), con un total de 21,028 has., representado 80% del área potencial de servicio. EPSAS tiene registros que muestran que la población servida con agua potable en ambas ciudades –La Paz, El Alto y zonas adyacentes (Achochalla y Viacha)– alcanza a 1,745,872 habitantes (ver Tabla 5.1), con una cobertura global del servicio de 95% y 312,117 conexiones activas.

5.1.3 Servicio de alcantarillado

Según EPSAS (2011), un total de 1,376,562 habitantes en el Área Metropolitana de La Paz tiene servicio de

alcantarillado, dentro de una proyección de 1,836,737 habitantes (ver Tabla 5.2). La cobertura global es de 75% con 216,866 conexiones activas de alcantarillado sanitario. El actual servicio de alcantarillado cubre 6,372 has. (La Paz) y 8,653 has. (El Alto) totalizando 15,025 has., lo que significa que el sistema de alcantarillado cubre tan sólo 57.2% del área potencial del servicio.

5.2 Santa Cruz de la Sierra, ciudad capital del Departamento de Santa Cruz

Santa Cruz de la Sierra es la ciudad que ha experimentado mayores transformaciones a consecuencia de sus altas tasas de crecimiento y migración, lo que exige una permanente búsqueda de soluciones en infraestructura y servicios. Tiene 1,114,095 habitantes (CNPV, 2001) y 252,136 viviendas, de los cuales 91.74% se abastece con agua por cañería de red. Está ubicada al margen derecho del Río Pirai. El área ocupada por la ciudad es de 567 km² y tiene un perímetro de 110.2 km. El clima de Santa Cruz de la Sierra es cálido subtropical con un promedio anual de precipitación es 1,300 mm, siendo los meses de mayor precipitación pluvial enero y febrero.

5.2.1 Hidrología e hidrogeología

El Río Pirai, al oeste de la ciudad, con un caudal aproximado a 5 mil m³/seg atraviesa la ciudad de norte a sur. Se encuentra, además, entre dos grandes cuencas: la del Río Grande o Guapay y la del Río Yapacani, todas de la Macro Cuenca Amazónica. Durante los años 1990 y 1991, para la protección de la ciudad se realizaron obras de protección que abarcan una longitud de 15 kilómetros a lo largo del río. Prácticamen-

Tabla 5.2 Área de servicio actual y conexiones de alcantarillado por sistema

Sistema	Población 2011	Área (Has.)	Número de conexiones EPSAS
La Paz Servida / Área con Red	792,290	6,372	100,938
La Paz - Proyección/Total Área	840,593	11,516	
La Paz Cobertura	94.3%	55.3%	
El Alto - Servida / Área con Red	584,272	8,653	115,928
El Alto - Proyección / Total Área	995,144	14,748	
El Alto Cobertura	58.7%	58.7%	
Total - Servida / Área con Red	1,376,562	15,025	
Total - Proyección / Total Área	1,836,737	26,264	
Cobertura La Paz - El Alto / Total	75.0%	57.2%	216,866

Fuente: Elaboración propia con base en información de EPSAS, La Paz.

te 100% de los áridos utilizados para la construcción en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra y sus alrededores provienen del lecho del Río Piraí.

Al finalizar la cuenca alta del Río Piraí se forma un inmenso cono aluvial que se confunde con el cono aluvial del Río Grande y dan origen al acuífero fuente del agua potable de la ciudad de Santa Cruz de la Sierra y de las localidades que se encuentran aguas abajo de la ciudad. El agua subterránea es de excelente calidad para consumo humano e industrial y cooperativas de servicios industriales y públicos; sólo tienen que clorarla para su utilización. El acuífero tiene como área de recarga los depósitos clásticos de la gran llanura aluvial conformada por capas de espesor variable de arena limosa (SM) intercaladas con arcilla de baja compresibilidad (CL). Además, el acuífero recibe agua de las precipitaciones y, en menor medida, de las infiltraciones del Río Piraí y sus tributarios.

En la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, donde se concentra una buena parte de la demanda de agua, la ausencia durante años de alcantarillado sanitario ha generado la contaminación de los acuíferos más próximos a la superficie por la infiltración de agua residual doméstica y sin tratamiento. Esto ha causado que sea necesario captar agua a mayores profundidades y actualmente se tienen perforaciones de más de 300 m de profundidad.

5.2.2 Suministro de agua potable

El sistema de abastecimiento de agua potable en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra depende exclusivamente de aguas subterráneas. El servicio es suministrado desde 1979 por la Cooperativa de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario (SAGUAPAC). Existen algunas otras cooperativas independientes que proveen únicamente el servicio de abastecimiento de agua potable.

SAGUAPAC es una cooperativa y cada propietario de una conexión de agua se convierte en socio y en copropietario con derecho a voz y voto. La cooperativa persigue el bienestar de los socios y no el lucro. SAGUAPAC tiene una estructura tarifaria social con diversos niveles de precios según el destinatario: uso residencial, uso comercial, uso industrial y uso especial (hospitales, escuelas públicas, oficinas del Gobierno, etcétera).

SAGUAPAC explota los acuíferos alojados en sedimentos cretácicos y terciarios que se encuentran

a más de 500 m de profundidad debajo de la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, mediante un conjunto de 61 pozos localizados en cuatro campos (Sur, Suroeste, Norte y Noroeste), con cuatro estaciones de bombeo, 6 tanques de almacenamiento con 29 mil m³ de capacidad, una red de distribución de 2.907 km y una producción anual (en 2003) de 51 millones de m³. Algunos estudios, considerando las proyecciones de explotación y recarga, señalan que para el año 2017 será necesario incorporar una fuente adicional de agua. SAGUAPAC tiene información hidrogeológica sobre el área de influencia del acuífero y cuenta con proyectos futuros de explotación sostenible, es decir, de extracción controlada y controles y seguimiento de la recarga del acuífero.

La estructura administrativa de SAGUAPAC es compleja, pero ha sido imitada en otras ciudades de Sudamérica. Dispone de una concesión sobre un área específica dividida en nueve distritos. Cada uno de éstos cuenta con un Consejo de Distrito, cuya función es recabar las inquietudes de los socios y busca la satisfacción de sus necesidades. La gestión de los consejeros de distrito es de 6 años y tiene 3 delegados que conforman, en su conjunto, la Asamblea de Delegados (27 miembros), cuya función principal es aprobar toda decisión importante de la cooperativa. Esta Asamblea de Delegados elige también a los nueve miembros del Consejo de Administración y a los seis del Consejo de Vigilancia.

A continuación se detallan algunos indicadores de SAGUAPAC del año 2003:

- Cobertura poblacional de agua potable 96%
- Cobertura poblacional de alcantarillado sanitario 50%
- Núm. de conexiones de agua potable 123,597
- Núm. de conexiones de alcantarillado sanitario 64.096
- Tarifa promedio de agua: USD/m³ 0,31
- Tarifa promedio de alcantarillado sanitario: USD/m³ 0,29
- Pérdida de agua 26 %
- Facturación anual: USD 19,5 millones
- Eficiencia de cobranza 94 %

5.3 Cochabamba, ciudad capital departamental de Cochabamba

La ciudad capital del departamento de Cochabamba (provincia Cercado) se encuentra a 2,535 msnm, cu-

bre una superficie de 10,605 ha, con una población de 778,442 habitantes (CNPV 2001) y 123,477 viviendas de los cuales 69,5% se abastece con agua por cañería de red. Su clima tiene una temperatura media anual de 17,5°C. Las precipitaciones pluviales varían entre 400 y 500 mm al año.

El Área Metropolitana de Cochabamba fue definida como la circunscripción territorial geográfica y humana conformada por la ciudad de Cochabamba y la conurbación ubicada en su área de influencia, y comprende los municipios de Sacaba, Cercado (Cochabamba), Tiquipaya, Colcapirhua, Quillacollo, Vinto y Sipe Sipe, todos dentro de la subcuenca de Río Rocha.

El proceso de expansión de la mancha urbana del Área Metropolitana de Cochabamba ha sido horizontal, de baja densidad, de manera desordenada y sin previsión. La utilización de tierras aptas para la producción agrícola ha creado problemas de diversa índole para el planeamiento urbano, incluyendo conflictos por la ocupación de espacios públicos, áreas verdes, espacios de preservación ecológica y forestal. Hay asentamientos ecológicamente catalogados como de alto riesgo y catástrofe natural por su ubicación en zonas de torrenteras (cursos de quebradas afluentes al Río Rocha que transportan torrentes de barro). También han proliferado asentamientos en terrenos aparentemente baldíos o abandonados, debido a que sus dueños no residen en el lugar.

En promedio, 50% de la población no tiene acceso a la red de agua. Los barrios sin abastecimiento de agua pública tampoco tienen alcantarillado sanitario. La contaminación de acuíferos someros es alarmante. Análisis realizados muestran vestigios

fecales y una amplia gama de bacterias, lo cual constituye un peligro a la salud de la población.

Otro peligro ambiental es que solamente 64,7% del total de las viviendas de la ciudad cuentan con el recojo y el desecho de la basura. El resto de la población elimina sus desechos a campo abierto, en ríos o vertederos, formando focos de contaminación para las aguas subterráneas someras.

El incremento de uso de abonos orgánicos tradicionales, industriales y aguas servidas no tratadas, en la agricultura también está produciendo un exceso de nitratos llevando a la disminución en la capacidad de autopurificación y nitrificación de los suelos.

5.3.1 Recursos hídricos en el área urbana de Cochabamba

La ciudad y el valle es atravesada de Este a Oeste por el Río Rocha, que nace en las serranías de Tuti (provincia Chapare) y el Río Tamborada, su principal afluente. Ambos ríos están altamente contaminados y su flujo es intermitente y solamente llevan agua de curso continuo en la temporada alta de lluvias (diciembre a febrero). Varios ríos intermitentes que nacen en la Cordillera Norte del valle (Tunari) echan sus aguas en tiempo de lluvias al Río Rocha. El Río Rocha tiene una longitud de 83 km, desde su nacimiento hasta que evacua sus aguas en el Río Caine, al sudoeste del valle. Su flujo de aguas drena a la Macro Cuenca Amazónica fluyendo a través de la Cuenca del Río Mamoré (Hidrografía de Bolivia, 2007).

Uno de los principales problemas del Área Metropolitana de Cochabamba es la escasez del agua causada por el bajo índice pluvial de la zona. La re-

Tabla 5.3 Disponibilidad promedio anual en fuentes potenciales superficiales y subterráneas

Municipio	Fuentes existentes		Fuentes potenciales				
	Pozos (Lt/seg)	Superficie Km ²	Kewina Khocha Corani (Lt/seg)	Trasvase Palca	Proyecto Misicuni (Fases 1 y 2) (Lt/seg)	San Miguel (Lt/seg)	Pozos Nuevos
Cercado	600	254					50
Sacaba	149	31	1,046	160			20
Quillacollo	110					335	90
Tiquipaya	66	26			4,000		50
Colcapirhua	82						30
Vinto	52						40
Sipe Sipe	11	10					70
Totales	1,070	321	1,046	160	4,000	335	350

Fuente: SERGEOMIN, 2004.

serva de agua superficial en algunos casos llega a secarse completamente. Por esta razón, es necesario prospectar y desarrollar recursos de agua subterránea en las ciudades conurbanas de Quillacollo, Sacaba y Tarata. La extracción del agua subterránea implica una fuerte inversión de fondos difíciles de conseguir, lo que lleva a un desarrollo deficiente e inadecuado de los proyectos diseñados. Sin embargo, el Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (SEMAPA), la compañía municipal encargada de la administración del agua en Cochabamba, posee un buen número de perforaciones, de las cuales obtiene un caudal importante.

Las vertientes de agua que afloran en la zona cordillerana de Cochabamba son aguas cálcicas-magnésicas bicarbonatadas (agua dulce). Estas vertientes afloran de rocas sedimentarias como de volcánicas. La concentración de sales disueltas totales en general no supera los 300 mg/Lt. Factores importantes para su pureza pueden ser la topografía empinada del terreno, que no permite la retención del agua en los acuíferos por tiempos prolongados y la composición ácida de las rocas. Los pozos no son surgentes, por lo que se deben añadir gastos de bombeo para su explotación.

La contaminación de las aguas subterráneas en la zona de la Cordillera está generalmente restringida a las vertientes que nacen de los depósitos acuíferos de menor profundidad. Los aluviones de ríos están expuestos a la contaminación por infiltración directa. Estos acuíferos están en grave riesgo de contaminación por las actividades humanas como agropecuarias.

En el Valle Central existen miles de pozos perforados y excavados. Profundidades y caudales varían dependiendo de su ubicación. En general los caudales en la parte central alcanzan 30 Lt/seg a profundidades de 125 m. En dirección Sur estos valores disminuyen. En el valle, tres pozos fueron perforados por SEMAPA en 1997 con profundidades mayores a los 200 m. En el Paso I se perforó un pozo con la profundidad de 550 m. Los rendimientos de estos pozos muy profundos no sobrepasan significativamente los caudales de los pozos que explotan los acuíferos más someros. La permeabilidad disminuye con la profundidad, con un aumento de arcillas entre las capas productoras, evitando una adecuada recarga de los acuíferos. La edad determinada del agua de este pozo profundo es de 18 mil años BP.

5.3.2 Plantas de tratamiento y reciclaje en la ciudad de Cochabamba

Las principales plantas de tratamiento de agua en Cochabamba para su reuso son:

A. La planta de Cala Cala, con una capacidad de tratamiento de 400 Lt/seg, trata las aguas provenientes del sistema Escalerani, y la planta de Aranjuez con una capacidad de 100 Lt/seg diseñada para el tratamiento de las aguas provenientes del sistema Wara Wara.

B. Las aguas residuales que son transportadas mediante el sistema de alcantarillado sanitario y son tratadas en la planta de tratamiento de Alba Rancho, que cuenta con un sistema de lagunas de estabilización para tratar hasta 400 Lt/seg. Cuenta con 8 lagunas secundarias con un área de 21.9 has. y 4 lagunas primarias con un área de 13.7 has., además con toda una red de canales de distribución, como también canales de recolección con sus sistemas de medición de caudales. Tiene, también, el control y registro de los estados del tiempo y su incidencia en el comportamiento y eficiencia de la planta. El incremento descontrolado de aportes nuevos puede generar una sobrecarga muy perjudicial.

5.3.3 Sistema de alcantarillado

Parte del alcantarillado sanitario de la ciudad de Cochabamba data de 1928. Se realizó pequeñas mejoras en 1945 antes de la realización del Proyecto Alcantarillado Sanitario. La cobertura alcanzó 42% abarcando principalmente los barrios centrales (las Cuadras, Muyurina, Cala Cala), cubriendo un área de 1300 has. El Proyecto Alcantarillado Sanitario para la Ciudad de Cochabamba de 1945 pretendía el cambio total de la red, pero la falta de financiamiento obligó a parcializar el proyecto conservando 131 km de la red antigua. La red de alcantarillado sanitario alcanzó una longitud 425.98 km. con 33.229 conexiones domiciliarias y 320 conexiones industriales, alcanzando una cobertura de 53% al finalizar el proyecto. Actualmente se cuenta con 729.91 km de red de alcantarillado sanitario, alcanzando una cobertura de 75.7%.

5.4 Oruro, ciudad capital del Departamento de Oruro

La ciudad de Oruro está situada a 3,736 msnm en el Altiplano Central, es la capital de la Provincia Cercado del Departamento de Oruro y tiene una extensión de 285.08 km².

Cuenta con una población de 202,010 habitantes (CNPV, 2001) y un total de 49,436 viviendas, de los cuales 87.99% se abastecen de agua por cañería de red. Está dividido en cinco distritos integrando dos áreas:

1. El área urbana (Distrito 1) o área intensiva tiene una superficie de 103.58 km².
2. El área extensiva abarca a los Distritos 2, 3, 4 y 5, y tiene una superficie de 180.66 km².

Se encuentra en la ecorregión de piso andino semiárido y árido sin cultivo, rodeado por una pequeña serranía, en la que se destacan una sucesión de domos porfídicos asociados a coladas de lavas, así como a diques y chimeneas subvolcánicas. Estos domos corresponden a los cerros San Felipe, Pie de Gallo, San Cristóbal, San José, San Pedro, Colorada, Rubiales, Argentillo, La Tetilla, Santa Bárbara, Cerro Calvario y Cerro Alamasí. En la serranía se aloja la mina de la E.M. San José y el drenaje que fluye de esta serranía es tipo radial centrífugo, generando problemas de correntías en la mancha urbana en época de lluvias y acarrea contaminación de agua ácida derivada de la mina.

Su clima varía de 12.4 a 2.6°C en su temperatura media. Durante el periodo invernal las bajas temperaturas son llevaderas gracias a su extrema sequedad. El análisis de la variación de la temperatura media presenta una tendencia a incrementar en una proporción de 0,0045 grados centígrados por año. Los registros de las precipitaciones pluviales mensuales muestran variaciones mínimas entre 10 a 20 mm en los meses de junio a agosto y de 190 a 220 mm en los meses de noviembre a febrero.

5.4.1 Recursos hídricos superficiales en el municipio de Oruro

La ciudad de Oruro está rodeada de cuerpos hídricos superficiales; el Río Tagarete bordea la ciudad por el lado este (Distritos 3 y 4). Por el sudoeste se tiene al Río Thajarita y al Río Desaguadero por el oeste (Distritos 3 y 4). Hacia el sur se encuentra el Lago Uru Uru (Distrito 4), formado por un rebalse natural del Río Desaguadero y el Lago Poopó. Los recursos hídricos superficiales proveen con un flujo de 34 Lt/seg al Municipio de Oruro, provienen de los ríos Sepulturas y Huayña Porto y son parte de la Macro Cuenca Endorreica del Altiplano boliviano.

El Río Desaguadero es el colector principal de la cuenca, drenando la zona hasta desembocar en el Lago Poopó al sur. El Río Desaguadero lleva un promedio de 20 m³/seg de las aguas del Lago Titicaca hacia el Lago Poopó, formando varias subcuencas al atravesar el Altiplano norte y parte de las serranías interaltiplánicas. Tienen importancia las llanuras de inundación del Río Desaguadero en el marco de la evaluación de los recursos hídricos tanto del Departamento como el de la ciudad de Oruro.

El Lago Uru Uru tiene una forma triangular con el vértice dirigido al sur; en la época de lluvia, 10% del espejo de agua del lago se encuentra dentro el límite extensivo del Municipio de Oruro; sin embargo, el agua en esta porción tiende a bajar por el efecto de la deposición de los sedimentos que arrastra el Río Desaguadero. El Río Desaguadero, entre el Lago Uru Uru y el Poopó, tiene una trayectoria de 30 km de largo, con una pendiente promedio de 0.03%; en esta región se desborda formando también el llamado Lago Soledad, aledaño al Lago Uru Uru de reciente data.

5.4.2 Recursos hídricos subterráneos en el municipio de Oruro

Estos recursos son administrados por la compañía municipal del Servicio Local de Acueductos y Alcantarillado (SeLA). El acuífero en Challa Pampa, localizado al noreste de la ciudad de Oruro, es explotado en las zonas de Challa Pampa, Challa Pampita, Challapampa Grande y Aeropuerto y suministran 94% de los 564 Lt/seg de agua potable distribuida por el SeLA. El acuífero Challa Pampa es una depresión tectónica rellenada por sedimentos recientes lacustres (Lago Minchin), sedimentos glacio-fluviales y por sedimentación fluvial y coluvial. Los diferentes sedimentos han dado lugar a cambios de facies con variaciones en la salinidad del agua. El SeLA tiene una batería de 23 pozos tubulares de 50 a 120 m de profundidad y tienen sistemas de aducción hacia la planta del tanque JKW, que se encuentra en el edificio del SeLA. Desde allí se hace la distribución y suministro urbano.

5.4.3 Suministro de agua potable

Los recursos hídricos que se utilizan para proveer agua a la ciudad de Oruro tienen origen en fuentes superficiales y subterráneas. Las tablas 5.4 y 5.5 muestran el consumo de agua potable y el número de conexiones según el tipo de usuarios.

5.4.4 Planta de tratamiento de la ciudad de Oruro

La ciudad de Oruro tiene una Planta Especial de Tratamiento de Aguas Servidas (PETAS), ubicada a 2,5 km al sudeste de la ciudad y es administrada por la Gobernación Departamental. La planta está en proceso de ser transferida al Gobierno Autónomo Municipal de Oruro (G.A.M.O.). Esta planta está paralizada hace tiempo, por lo que las aguas servidas son vertidas directamente a los lagos Uru Uru y Poopó sin ningún tratamiento. A sólo 1,5 km al norte de la planta existe un canal abierto que es utilizado para desviar las aguas servidas directamente al Lago Poopó. Las aguas servidas fluyen a razón de 400 Lt/seg, aunque el SeLA produce 300 Lt/seg de agua potable, lo que hace suponer que éstas son la mezcla de las aguas pluviales y las del sistema de alcantarillado.

5.5 Sucre, ciudad capital departamental de Chuquisaca

Sucre es la capital constitucional y oficial de Bolivia y capital del Departamento de Chuquisaca. Geográficamente Sucre se sitúa a 2,750 msnm. Es la tierra media entre las tierras altas de la meseta andina y las tierras bajas de los llanos del sudeste del Gran Chaco. Tiene 194,888 habitantes (CNPV, 2001) y 49,979

viviendas con 78.73% de ellos que se abastecen con agua por cañería de red.

La ciudad de Sucre presenta las condiciones climatológicas propias de la zona de valles, con un clima seco y templado con temperaturas que oscilan entre un máximo de 22°C en verano y un mínimo de 8°C en invierno. La temperatura ambiente media es de 15.2°C. La precipitación media es de 650 mm/año.

5.5.1 Recursos hídricos en la ciudad de Sucre

La localización geográfica de la ciudad de Sucre coincide con la divisoria hidrográfica de los sistemas de la Macro Cuenca del Amazonas (ríos Chico y Grande) y la Macro Cuenca del Río de la Plata (ríos Cachimayu y Pilcomayo). Así, la ciudad se convierte en una zona de doble vertiente, pues algunas de sus aguas discurren hacia el Amazonas (Brasil) y otras hacia el Río de la Plata (Argentina).

5.5.2 Suministro de agua potable

La Empresa Local de Agua Potable y Alcantarillado Sucre (ELAPAS) suministra y administra el agua potable y el alcantarillado de la ciudad de Sucre. ELAPAS está constituida como una Empresa de Servicio Público descentralizada del Gobierno Municipal de Sucre, con personería jurídica propia y cuenta con

Tabla 5.4 Consumo de agua potable según tipo de usuario, enero a noviembre 2009-2010 (en metros cúbicos)

Tipo de usuario	Enero a noviembre de 2009		Enero a noviembre de 2010		Variación Porcentual
	Consumo	Variación Porcentual	Consumo	Variación Porcentual	
Total	5,221,773	100.00	5,415,500	100.00	3.71
Doméstico	3,565,204	68.28	3,736,765	69.00	4.81
Comercial	758,128	14.52	792,575	14.64	4.54
Industrial	255,293	4.89	262,362	4.84	2.77
Estatal	643,148	12.32	623,798	11.52	(3.01)

Fuente: Servicio Local de Acueductos y Alcantarillados (SeLA), Oruro e INE 2011.

Tabla 5.5 Número de conexiones y participación porcentual según tipo de usuario, enero a noviembre 2009-2010 (en número de conexiones)

Tipo de usuario	Enero a noviembre de 2009		Enero a noviembre de 2010		Variación Porcentual
	Consumo	Variación Porcentual	Consumo	Variación Porcentual	
Total	46,796	100.00	49,383	100.00	5.53
Doméstico	43,965	93.95	46,440	94.04	5.63
Comercial	1,969	4.21	2,061	4.17	4.67
Industrial	113	0.74	115	1.23	1.77
Estatal	749	1.60	767	1.55	(2.40)

Fuente: Servicio Local de Acueductos y Alcantarillados (SeLA), Oruro e INE 2011.

una autonomía administrativa, financiera y de gestión, con duración indefinida y patrimonio propio e independiente del Gobierno municipal. Fue creada mediante Decreto Supremo N° 07309 de 1965.

ELAPAS suministra 25,435,587 Lt/día de agua potable a 49,900 viviendas (CNPV, 2012). Tiene dos sistemas alimentados por fuentes superficiales:

- Sistema de Cajamarca, que incluye los ríos Cajamarca, Safiri y Punilla con un flujo de 80 Lt/seg.
- Sistema Ravelo, que incluyen los ríos Ravelo, Peras Mayum Jalaqueri, Murillo y Fisco con un flujo total de 389 Lt/seg.

Se cuenta además con tanques de transición y almacenamiento de mampostería de piedra en Silvico y Guerraloma respectivamente.

Entre los proyectos a mediano plazo para mejorar el servicio, ELAPAS tiene los siguientes:

- Conclusión de obras en el proyecto Lajastambo Fase I. Fuente principal de abastecimiento es el Sistema de Aducción Cajamarca, de reciente rehabilitación.
- Ejecución de la Fase II - Proyecto Lajastambo, financiado por el Gobierno central.
- Convocatoria a expresiones de interés en forma conjunta por el Ministerio del Medio Ambiente y Agua, la organización alemana KfW y ELAPAS para el estudio a diseño final del proyecto de incremento de caudal Sasanta-Yurubamba / SUCRE III.

ELAPAS implementó una estructura tarifaria que contiene una tarifa solidaria para consumos menores a 10 m³; la finalidad es subvencionar a familias de menores ingresos.

5.5.3 Planta de tratamiento en la Ciudad de Sucre

Ante la necesidad de una planta de tratamiento de aguas residuales, en 1970 la firma Francesa Degremont construyó la Planta El Rollo, con una capacidad de 125 Lt/seg. En 1991, por el acelerado crecimiento poblacional, se amplió la planta a 250 Lt/seg. Actualmente, por el incremento de usuarios, sólo cubre 65% del caudal necesitado por la ciudad. ELAPAS garantiza la pureza del agua tratada.

5.5.4 Sistema de alcantarillado

El servicio de alcantarillado en la ciudad de Sucre es para aguas servidas y no tiene un sistema de recolección pluvial. La cobertura del servicio es de 85,7%;

sin embargo, su proyección para el año 2015 es de tan sólo 82,0%. Aun así, ELAPAS garantiza la recolección de aguas servidas del sistema hasta la planta de tratamiento. En 2009 se amplió la red de alcantarillado con 6,350 m lineales de tubería en Lajastambo.

5.6 Potosí, ciudad capital del Departamento de Potosí

El Municipio de Potosí se encuentra en la provincia fisiográfica meridional de la Cordillera Oriental de los Andes. La extensión territorial del municipio es de 1,255 km² y la ciudad de Potosí ocupa 19,8 km² como área urbana. El área urbana incluye a 12 distritos y el rural incluye a 4. Fisiográficamente el territorio que comprende el Municipio de Potosí muy escasamente presenta porciones de mesetas y planicies, algunas intermedias entre serranías, donde se ubica la ciudad de Potosí. Geológicamente predominan las rocas volcánicas y sedimentarias, conformando un complejo interesante.

Figura 5.2 Contaminación minera en la ciudad de Potosí.



Tiene una población de 133,268 habitantes (CNPV, 2001) y 59,374 viviendas, de los cuales 86,55% se abastecen de agua por cañería de red. Tiene una precipitación anual de 360 mm y una temperatura media mensual entre 5,2 y 13,7°C.

5.6.1 Hidrografía

Hidrográficamente los ríos del Municipio de Potosí pertenecen a la subcuenca del Río Pilcomayo, que es parte de la Macro Cuenca del Río de La Plata. El Río Pilcomayo en su recorrido recibe como afluentes a los ríos denominados como Mayus que atraviesan el municipio, además del Río Tarapaya.

5.6.2 Recursos hídricos potables

La administración de las instalaciones de cobertura de agua potable y el alcantarillado de la ciudad de Potosí se encuentra a cargo de la Administración Autónoma para Obras Sanitarias (AAPOS). En el quinquenio 1998-2002 se han realizado ampliaciones a la red de agua potable abarcando un conjunto total de 14,538 m, un mantenimiento y correctivo de la red (cambio de toma), el mantenimiento preventivo y cambios en la red matriz de 3,250 m y de conexiones en 330 viviendas. Hasta el año 2002 la red de distribución de agua potable funcionaba como un circuito único. A fin de garantizar que el suministro de agua sea de manera continua, y con la presión de acuerdo con normas nacionales e internacionales, ahora está dividida en dos circuitos: a) Circuito Chapini 1, y b) Circuito Chapini 2.

La ciudad de Potosí se abastece de agua potable de fuentes de agua superficial que es recolectada y almacenada en 22 lagunas, las mismas que permiten el embalse de 8,114,000 m³, con una red de aducciones o acueductos desde 6 subcuencas diferentes, conducidas a la ciudad a través de 6 sistemas a las Plantas de Tratamiento Millner –construidas en 1974–, de donde se entrega al tanque principal la cantidad de 2,500 m³ que por gravedad alimenta a la red de distribución.

a. Fuente Lagunas del Kari Kari. El agua proveniente de las Lagunas del Kari Kari es utilizada para el consumo humano. Este sistema es vulnerable debido a fenómenos naturales como El Niño, caracterizados por el incremento de temperaturas y la disminución de precipitaciones pluviales, causando una disminución en el almacenamiento de agua.

El almacenamiento de agua en la fuente del Kari Kari llega a los 8,114,000 m³, pero en época seca baja a 2,143,489 m³, presenta problemas en cuanto a la calidad, ya que el arrastre de lodos incrementa los problemas en la planta de tratamiento por filtros taponados. Este sistema tiene 32 lagunas artificiales que alimentan seis sistemas.

También existe la posibilidad de incorporar la cuenca hídrica de Laka Chaka para complementar las fuentes de abastecimiento existente de Kari Kari. Las aguas del sistema Laka Chaka se están transportando mediante una línea de aducción hacia ingenios mineros. El potencial hídrico de este sistema es muy elevado y existe un entronque de conexiones entre la aducción para la minería con la aducción de Chalvir Millner.

b. Fuente de Río San Juan. Esta fuente de agua superficial se utiliza desde fines del año 1999 y cuenta con módulos como: obra de toma, línea de aducción, tanque de almacenamiento y estación de cloración. El tanque de almacenamiento se encuentra en el Cerro Chico; desde éste se envía agua al tanque Chapini y a la red. Esta red aporta cerca de 97,21 litros por segundo, lo que equivale a 3,065,709 m³ al año para un consumo de 64 litros por habitante al día, lo que equivale a una deficiencia del sistema que debería estar funcionado con una capacidad total de 150 litros por segundo.

c. Fuente de Bombeo La Palca. Esta fuente de agua superficial se encuentra por debajo de la cota a la que se encuentra Potosí, por lo que se debe utilizar un sistema de bombeo. Por sus altos costos de operación este sistema no se utiliza, teniéndolo como reserva para casos o eventos de gran sequía.

5.6.2 Planta de tratamiento

Hasta el año 2011, en el Municipio de Potosí sólo existían sistemas de filtros a la entrada de flujo de cada tanque de almacenamiento, lo que no garantizaba una dotación de agua de acuerdo con las normas bolivianas de calidad.

El Gobierno de Japón donó USD 14.6 millones para construir una planta de tratamiento de agua y rehabilitar las conducciones de toma. La planta abastece de agua potable hasta 95% de la población potosina beneficiando a más de 73,586 personas. La planta de tratamiento de agua potable incluye un sistema de decantación, filtración y sistemas de reactivos. Trata un caudal de 510 m³/h.

5.7 Tarija, ciudad capital del Departamento de Tarija

La ciudad de Tarija es capital del departamento y está administrada por el Gobierno Autónomo Municipal de la Ciudad de Tarija y la Provincia Cercado. En el año 2007 la población urbana en el municipio de Tarija alcanzó 79.8% y la rural 21.2% de una población total de 279,274 habitantes, con una tasa de crecimiento poblacional de 3.1% y una tasa de migración anual de 3.9%. El Gobierno municipal de Tarija administra 20 distritos: 13 urbanos y 7 rurales.

El área de urbanización de la ciudad abarca 42 km² y se ha desarrollado en forma paralela a ambas bandas del Río Guadalquivir, río con un caudal de 4.5

m³/seg que cruza de noroeste a sudeste la ciudad de Tarija. Ésta tiene 135,651 habitantes (CNPV, 2001) y un total de 36,126 viviendas, de los cuales 88.14% se abastece de agua por cañería de red.

5.7.1 Hidrografía

Los recursos hídricos superficiales del municipio de Tarija y la Provincia Cercado están distribuidos en dos subcuencas: a) la del Río Santa Ana, y b) la de los ríos Tolomosa y Sella, siendo ambos afluentes del Río Guadalquivir. Las dos subcuencas pertenecen a la cuenca del Grande de Tarija, a la cuenca del Río Bermejo y a su vez a la Macro Cuenca del Río de La Plata.

En 2007, la Prefectura de Tarija inició el Proyecto Huacata para aliviar la falta de agua en el Valle Central, sobre todo durante la estación seca. El proyecto construyó una represa para retener el agua en la cuenca del Río Huacata en el Norte y su trasvase a la cuenca del Río Guadalquivir. Con el agua del Huacata varias comunidades en la parte alta de la cuenca del Río Guadalquivir reciben agua potable y agua para riego. El agua de Huacata y el agua de otras fuentes permiten a la Cooperativa de Servicios de Agua y Alcantarillado de Tarija (COSAALT Ltda.) ampliar el volumen de las redes de agua potable.

La Prefectura del Departamento y COSAALT trabajaron en el Proyecto de Saneamiento del Río Guadalquivir como un proyecto integral de recuperación ambiental del río con varios componentes complementarios. El saneamiento del Río Guadalquivir beneficia a todo el Valle Central que cubre 3,060 km², abarcando gran parte de los municipios de Cercado, Avilés y Méndez, cubriendo una población estimada de más de 250 mil habitantes (en 2007), 175 mil habitantes urbanos y 75 mil rurales.

5.7.2 Recursos hídricos potables

a. Fuentes Superficiales

En el año 1986 se funda la Cooperativa de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario de Tarija de responsabilidad limitada (COSAALT Ltda.). Tiene la concesión para el aprovechamiento de aguas y de los servicios de alcantarillado por un plazo de 40 años. Muestra un incremento en promedio de 92 nuevas conexiones mensuales, por lo que en el año 2007 había 26,018 usuarios y en 2012 hubo 31,702 usuarios. El actual Gobierno del Estado Plurinacional otorgó la licencia para la continuidad de la prestación del

servicio cooperativizado mediante la Resolución Administrativa Regulatoria AAPS N° 251/2010 de 2010.

En el Municipal de la Ciudad de Tarija y la Provincia Cercado existen varias posibles fuentes de abastecimiento de agua superficiales, pero ninguna puede cubrir completamente, por sí sola, toda la demanda actual y la futura (ver Tabla 5.6). El Río La Victoria cubre eficientemente la demanda solamente durante la época de lluvias. Otras fuentes superficiales reguladas mediante embalses tampoco lograrían cubrir la demanda, ya que tienen un caudal limitado para el abastecimiento humano, usándose el mayor caudal para el riego en la agricultura. Se mencionan entre este grupo de fuentes a los proyectos de embalses en los ríos Huacata, Calderillas y Tolomosa.

Para poder atender adecuadamente las variaciones horarias de los consumos es necesario incrementar la capacidad de almacenamiento en las zonas actualmente en servicio como en las futuras áreas de crecimiento de la mancha urbana; para ello se considera el incremento en 12,600 m³ adicionales.

La producción reportada por COSAALT para el año 2011 fue de 15,792,026 m³, equivalente a 501 Lt/seg, cantidad insuficiente para cubrir la demanda máxima diaria. La Tabla 5.6 muestra el caudal medio anual de las fuentes superficiales actuales para el año 2011.

En la provincia Cercado la cobertura actual de agua es de 97% (44,599 familias); los proyectos programados permitirán alcanzar 99% de cobertura (45,750 familias), quedando sólo 359 familias sin cobertura de agua.

En resumen, las fuentes superficiales para el abastecimiento de agua para la ciudad de Tarija son las siguientes:

- Río el Rincón de La Victoria
- Río Erquis (que abastece a los usuarios de Tomatitas)
- Río Guadalquivir (Las Tipas)
- Lago San Jacinto

b. Fuentes Subterráneas

COSAALT controla 15 pozos de agua subterránea, pero sólo seis de ellos operan en época seca. Además, se ha realizado un estudio hidrogeológico preliminar en la cuenca del Río Guadalquivir, abarcando las provincias de Cercado, Méndez y Avilés. Se determinó la presencia de dos tipos de acuíferos ubicados en las zonas detalladas a continuación:

Tabla 5.6 Caudal medio anual de las fuentes superficiales

Provincia	Fuente	Tipo de toma	Área (Km²)	Caudal medio anual (Lt/seg)
Cercado	La Victoria Galería	Sub superficial	34.36	924
	Victoria 1	Superficial	32.05	
	Victoria 2	Superficial	28.14	
	Erquis	Sub superficial	104.95	907
	Las Tirpas	Superficial	913.31	5.939

Fuente: COSSALT, 2011.

- Acuífero multicapa en sedimentos fluvio-lacustres, por donde circula agua a menor profundidad, con transmisibilidades entre 10 y 300 m²/ día.
- Acuífero de rocas duras fracturadas (permeabilidad secundaria), donde fluye el agua a mayores profundidades.

Las zonas potenciales determinadas son:

- Franja Noreste de la ciudad.
- Zona San Luis-San Blas.
- Llanura aluvial de pie de monte de la subcuenca Tolomosa-San Andrés-Tablada.

5.7.3 Planta de tratamiento

Desde los años noventa, parte de las aguas servidas de la ciudad de Tarija son tratadas en las lagunas de oxidación ubicadas en la zona de San Luis. En las partes urbanas sin alcantarillado, las aguas servidas son tratadas en tanques sépticos, generalmente mal manejados, o son botadas a las numerosas quebradas sin ningún tratamiento. Se estima que aproximadamente 35% de las aguas servidas son botadas sin ningún tratamiento.

Las lagunas de oxidación descargan el efluente al Río Guadalquivir, pero las lagunas son totalmente inadecuadas e insuficientes para tratar el volumen total de las aguas servidas de la ciudad. El sobrecargo de las lagunas ocasiona malos olores que empeoran durante períodos de cambios bruscos de la presión atmosférica y temperaturas diarias. Además, con la expansión espontánea de la ciudad, las lagunas ya se encuentran dentro de los límites de las urbanizaciones de la ciudad.

5.7.4 Sistema de alcantarillado

COSAALT está en el proceso de ampliar las redes urbanas de agua potable y alcantarillado e intenta su- bir la actual cobertura de 65% hasta 90% para 2030.

En 2007, como una primera etapa, COSAALT inició un programa para ampliar la red de alcantarillado a 46 barrios periféricos y con la construcción de 40 km de colectores de aguas servidas.

COSSALT tenía 27,382 conexiones domiciliarias de alcantarillado sanitario el año 2011 con una cobertura de 82% del total de viviendas registradas del municipio.

5.7.5 Contaminación ambiental

COSAALT, como concesionario, controla las descargas de 15 industrias en Tarija. Estas industrias tienen un permiso que regula las descargas permitidas. Sólo una planta industrial cuenta con facilidades de pretratamiento de sus aguas servidas y gran parte de las aguas servidas industriales no entran en la red cloacal, contaminando los subsuelos. Una evaluación de la información disponible indica que aproximadamente 35% de todas las aguas servidas urbanas son industriales, pero estas aguas aportan aproximadamente 50% de la carga total de las aguas servidas. Los datos de COSAALT indican que sólo 14% de la carga total está regulada.

Ciertas industrias en Tarija no descargan sus aguas servidas a la planta en San Luis, incluyendo el matadero municipal y varias curtiembres, importantes productores de aguas servidas con altas concentraciones de DBO y DQO. La impresión es que las industrias reguladas sólo se refieren a una parte muy limitada de todas las aguas servidas industriales, y conectando estas industrias a la planta PTAR, no sólo resultará en un mayor volumen de aguas servidas a ser tratadas, sino también en posibles mayores problemas de tratamiento.

Las aguas servidas no tratadas de la ciudad y de los centros rurales contaminan fuertemente el Río Guadalquivir. Aguas abajo de la ciudad se encuentran varias comunidades de pequeños productores que utilizan las aguas crudas no tratadas del río

como agua de riego para cultivar hortalizas destinadas a los mercados de la ciudad.

Para el tratamiento de las aguas servidas domésticas e industriales de la ciudad de Tarija se tienen diseñado los siguientes tres componentes: (i) La construcción de una nueva Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), (ii) El pretratamiento descentralizado de las aguas industriales de Tarija, y (iii) El reúso del agua tratada como agua de riego en la agricultura de vid y frutales en las partes más secas del Valle Central.

La planta remplazará las lagunas de oxidación de San Luis que son totalmente inadecuadas para el tratamiento de las aguas servidas residuales domésticas e industriales y son fuente de degradación ambiental cada vez más seria. Esta planta PTAR con tecnología anaeróbica en combinación con filtros biológicos estará ubicada en La Pintada y tendrá una capacidad para cubrir las necesidades hasta 2030 y una población estimada en 480 mil habitantes.

5.8 Trinidad, ciudad capital del Departamento de Beni

Trinidad, sección capital de la provincia Cercado, se encuentra situada en la parte sureste del Departamento del Beni. Es capital del Departamento del Beni. El radio urbano está definido al oeste por el Río Ibare, al norte por el Río Mocoví; al este y sur por un radio de 11 km desde el centro de la plaza principal. Al interior del perímetro urbano se define un radio de uso intensivo de 5 km a la redonda, afuera del cual el uso es extensivo. Los planes vigentes no regulan adecuadamente las áreas rurales externas de la mancha urbana. No existe ninguna planificación ni reglamentación de uso del suelo fuera del perímetro urbano.

El clima es cálido y húmedo con una temperatura promedio de 26°C, con fluctuaciones desde 8 hasta 38°C. La época fría entre mayo y julio se caracteriza por vientos fríos del sur denominados “surazos”. Los meses de noviembre hasta marzo son los más lluviosos. El promedio pluvial anual es de 1,900 mm. La máxima cantidad de lluvia registrada en un solo día fue de 319 mm.

En el año 2002 se comisionó el Estudio de Caso: Uso del Suelo Municipio de Trinidad como un complemento al Plan de Desarrollo Urbano de Trinidad, introduciendo un enfoque ambiental en la planificación urbana. El estudio identifica cuatro zonas am-

bientalmente sensibles, cinco zonas de amortiguamiento y varias zonas de inundación y riesgo.

Un cambio ambiental fundamental fue el traslado del curso del Río Mamoré en el año 1997, a unos 5 km hacia el oeste. Como resultado, el área circundante de Trinidad ya no recibe las aguas de inundación del rebalse del río principal. Desde entonces han proliferado las urbanizaciones en el sector sur y oeste en una zona definida como de protección y forestación. Además de no contar con los servicios básicos necesarios, se generan situaciones de desastres naturales con cientos de familias damnificadas por las fuertes lluvias e inundaciones. Existe un perfil de proyecto elaborado de gran envergadura para construir un “Cinturón Ecológico”; con una estación de bombeo convertirían estos terrenos en habitables.

Por otra parte, el cambio del curso del Río Mamoré ha disminuido la recarga lateral del acuífero utilizado como fuente de agua potable hasta tal punto que no puede mantener el caudal esperado para el sistema de agua de la ciudad. Una solución definitiva al problema de la cantidad y calidad es traer agua desde el Río Mamoré a una distancia de 12 km.

La falta de oportunidades de trabajo en el Departamento del Beni ha aumentado la afluencia de personas a la capital, ocasionando un rápido crecimiento de la mancha urbana sin una planificación adecuada. Aumenta la población sin servicios (agua potable, energía eléctrica, alcantarillado, etcétera), con el consecuente aumento de contaminación de fuentes de agua, suelo, malos olores, la proliferación de vectores de enfermedades y problemas de salud en la población.

La ciudad de Trinidad tiene 75,285 habitantes (CNPV, 2001) y un total de 16,145 viviendas, de los cuales 47.15% se abastecen con agua por cañería de red.

5.8.1 Hidrografía

La ciudad de Trinidad, establecida en la margen derecha del Río Mamoré, está rodeada por varios cursos hidrográficos que tienden a inundar la ciudad y por una serie de canales de desagüe. El Río Mamoré es uno de los principales cursos de la Macro Cuenca del Río Amazonas en Bolivia. Tiene un caudal de 1,690 m³/seg en su paso cerca de Trinidad.

5.8.2 Recursos hídricos potables

La dotación de agua potable dentro de la ciudad de Trinidad se encuentra a cargo de la Cooperativa de

Servicio de Agua Potable Trinidad (COATRI), fundada en 1988 sobre la base de los activos y pasivos pasados de la Administración Regional para Obras Sanitarias del Beni.

La fuente de abastecimiento de agua es un sistema de aguas subterráneas con una batería de 16 pozos perforados a profundidades que varían desde 44 hasta 144 metros. El diámetro de los pozos es de entre 6 y 10 pulgadas. En conjunto proporcionan un caudal de 112 Lt/seg y una producción diaria de 10,500 m³. Anualmente se distribuyen 1.295.208 m³ de agua. Desde el año 2003 se distribuye agua durante las 24 horas del día.

La tarifa básica domiciliaria en Trinidad es una de las más caras del país, después de Camiri y Asunción de Guarayos. Es superior a la tarifa recomendada por la OPS para países en desarrollo de entre uno y dos jornales por mes.

Hasta el año 2005 la COATRI contaba con 7,875 conexiones entre domiciliarias e industriales. Utilizando un promedio de 6,5 habitantes por conexión, la COATRI estima que la población servida era de 51 mil habitantes o 60% de la población.

Dentro de la ciudad la cooperativa cuenta con un contrato de concesión que cubre una superficie de 1,780 has. El contrato de concesión le otorga el derecho exclusivo a la COATRI para el uso y la obligación de distribución de agua dentro de los límites geográficos de la concesión. El alcance geográfico de la concesión no cubre toda el área urbanizada de la ciudad.

Aparte de la poca cobertura de acceso al servicio de agua de la COATRI, no solamente en Trinidad sino en todo el municipio, el agua de pozos semisurgentes es de mala calidad con exceso de magnesio y hierro, lo que le otorga un sabor salado y, a veces, una coloración marrón y de olor desagradable. La presencia de suelos finos, hierro y otros minerales causan que los pozos perforados requieran constante mantenimiento y lavado para mantener su caudal. Si no se realiza el mantenimiento oportunamente, el pozo puede quedar inutilizable en poco más de un año.

Se tiene un proyecto diseñado para extraer agua desde un brazo antiguo del Río Mamoré en la localidad de Puerto Varador. Esta agua proviene de filtración y es de buena calidad aun sin tratamiento; cuenta con suficiente caudal para abastecer a la ciudad.

Otro de los problemas que se prevén con la implementación del nuevo sistema de agua, es la insuficiente capacidad de las cañerías de aguantar el in-

cremento en la presión del agua. Se podrían generar fugas subterráneas, ya que muchas de las cañerías son obsoletas o diseñadas para el sistema antiguo que no generaba mucha presión.

La construcción de la planta de tratamiento de agua potable fue concluida y tiene una capacidad de tratamiento de 600 m³/hora. Esto permitió anular nueve pozos de producción. El sistema funciona con los siete pozos de mayor diámetro.

5.8.3 Alcantarillado sanitario

Como componente del Proyecto de Agua Potable y Alcantarillado se está implementando un sistema de alcantarillado sanitario en Trinidad con financiamiento de la KfW de Alemania. La COATRI estima que proporcionará servicios a 60% de la población. El sistema cuenta con 38,217 metros de tubería subterránea y tres estaciones de bombeo.

El sistema de alcantarillado fue concluido y puesto en marcha en el año 2004. En total 4,644 socios se registraron en el sistema con un financiamiento a largo plazo. Al año se conectan al sistema aproximadamente 400 socios.

En el año 2005 se realizaron 401 conexiones nuevas gracias a un esfuerzo conjunto entre la Prefectura del Beni, la Alcaldía de Trinidad y la COATRI subvencionando los costos de la conexión domiciliaria. Durante el mismo trabajo se detectaron conexiones clandestinas, pero no han sido cuantificadas. Actualmente se cuenta con un total de 1,476 conexiones oficiales.

Debido a la topografía plana de la ciudad, el sistema funciona con base en cuatro estaciones de bombeo. En la eventualidad de que un apagón de energía eléctrica coincida con una lluvia fuerte, el sistema podría rebalsar, causando contaminación generalizada en una gran parte de la ciudad. Por este motivo se requiere instalar un sistema de emergencia que incluye tres generadores de electricidad, lo cual no fue previsto en el proyecto implementado. También se ha detectado que en la zona central de la ciudad el agua pluvial ingresa en el sistema de aguas servidas, lo que ocasiona la sobrecarga del sistema de bombeo y el rebalse de aguas servidas en algunas viviendas.

En cuanto a las industrias, no todas se encuentran dentro del área de cobertura del alcantarillado, por lo que continúan descargando sus efluentes a cursos de agua cercanos (Caso Nudelpa, matadero

Marbán y algunas curtiembres). Esta situación ha ocasionado que las cunetas, drenajes y cauces de agua sean usados como reservorio de las aguas servidas, provocando malos olores, contaminación visual y proliferación de vectores de enfermedades. Por este motivo, cursos de agua como el arroyo San Juan se encuentran contaminados con aguas residuales, además de que existe la posibilidad que estos residuos se infiltren directamente de las letrinas y contaminen las fuentes de agua subterránea que sirven para abastecer de agua potable a la ciudad.

5.8.4 Drenaje pluvial

El drenaje pluvial es uno de los problemas más fundamentales de la ciudad de Trinidad. El municipio de Trinidad se encuentra en una zona de 0% de pendiente, y un alto promedio de precipitación pluvial sobre un suelo preponderantemente arcilloso, lo que dificulta el escurrimiento natural del agua. También, el sistema natural que existía en Trinidad, que permitía que el agua del sector norte de la ciudad drenara hacia el arroyo Mocoví, ha sido paulatinamente interrumpido al asfaltarse vías, construir barrios sin planificación sobre el cauce y obstruirlos con puentes y sedimentos. En el caso del Distrito 8, la existencia de cultivos de arroz en los humedales cercanos ha ocasionado que el flujo natural que desembocaba al canal Mocoví, sea interrumpido, causando estancamiento del agua e inundación de calles. Además, no existe en Trinidad un sistema de drenaje que pueda evacuar eficientemente los grandes volúmenes de precipitaciones pluviales. El sistema provisional de evacuación de aguas consta de una serie de zanjias o cunetas que fueron construidas sin una planificación adecuada y se encuentran constantemente tapados por falta de mantenimiento oportuno.

Con base en un levantamiento topográfico, el Plan Maestro delimita una serie de 8 cuencas de drenaje para el área urbana. Además, identifica una serie de reservorios que absorberían las lluvias torrenciales hasta que los equipos de bombeo los vacíen en un tiempo prudente. De los reservorios existentes, el Arroyo San Juan es el más importante y el único reservorio interno de agua pluvial se encuentra colmatado de sedimentos y residuos, y con un flujo interrumpido hace muchos años. Esta situación ha ocasionado que las lluvias provoquen inundaciones prolongadas en las zonas bajas de la ciudad, con el consecuente rebalse de letrinas y cunetas. Existe un Plan Maestro de

Drenaje Pluvial elaborado entre los años 1999 y 2001 que planteaba una solución definitiva al problema; sin embargo, no ha sido aún implementado.

5.8.5 Contaminación ambiental

El sistema de tratamiento de aguas cuenta con una capacidad de 10,500 m³/ día. El sistema contempla tres etapas de tratamiento: sedimentación, oxidación y maduración. Las aguas debidamente tratadas son expulsadas hacia el suroeste de la ciudad por un arroyo denominado El Estribo.

El crecimiento y desarrollo del Municipio de Trinidad ha generado actividades que liberan contaminantes y causan efectos negativos al aire, al agua y al suelo, así como también a los recursos naturales y la biodiversidad. Estos impactos afectan al medio ambiente, salud y calidad de vida de las personas. A nivel global, las principales causas o situaciones identificadas que generan impactos ambientales negativos en el municipio de Trinidad son:

- La deficiente gestión de residuos sólidos.
- El deficiente manejo de los residuos líquidos urbanos e industriales.
- El deficiente sistema de drenaje pluvial.
- El rápido crecimiento de asentamientos urbanos no planificados.
- El deficiente servicio de agua potable.
- La desorganización y rápido crecimiento del parque automotor.
- El inadecuado uso y ocupación del suelo y del espacio.
- La explotación insostenible de los recursos naturales.

5.9 Cobija, ciudad capital departamental de Pando

Cobija es un municipio autónomo y ciudad capital del Departamento de Pando. Es la única aglomeración urbana al norte de la Amazonia boliviana. Está situada a orillas del Río Acre, frontera natural con la República de Brasil, a una altitud de 235 msnm. Sin embargo, es la capital departamental menos poblada del país. Tiene 20,987 habitantes (CNPV, 2001) y un total de 4,923 viviendas, de los cuales 69,31% se abastece de agua por cañería de red.

Cobija, junto con las ciudades brasileras de Epiaciolandia y Brasileia, conforman una sola área

metropolitana. Las tres ciudades están ubicadas a orillas del Río Acre con el que establecen una serie de relaciones, entre ellas al usar los recursos hídricos y causando también impactos ambientales negativos.

5.9.2 Hidrografía

La totalidad del Municipio de Cobija se encuentra dentro de la cuenca hidrográfica del Río Acre. Esta cuenca tiene una superficie aproximada de 30 mil km² y cubre territorios de Bolivia, Brasil y Perú. El Río Acre es el receptor de todas las aguas superficiales de la ciudad de Cobija y es un afluente de la margen izquierda del Río Purús que nace en Perú y desagua en la margen derecha del Río Amazonas en territorio Brasileño.

El Río Acre demarca el límite Norte del municipio y al mismo tiempo es el límite fronterizo entre Bolivia y Brasil. Recorre territorio boliviano en dirección oeste-este, desde Bolpebra hasta Cobija, en una longitud de 125 km, recibiendo aguas de las subcuencas de los Arroyos Bahía, Virtudes, Noaya, Buenos Aires, Madre de Dios, San Miguel y Píapi. En la ciudad de Cobija cambia de dirección norte-sur entrando en territorio brasileño y desaguando en el Río Purús.

5.9.3 Recursos hídricos potables

El suministro, distribución y tratamiento de agua en la ciudad de Cobija es realizado por la Cooperativa de Suministro de Agua Potable de Cobija (COSAPCO). Para el abastecimiento de agua potable se realiza desde el arroyo Bahía, en la frontera con el Brasil. El arroyo Bahía tiene un caudal firme, de estiaje, de 0,7 m³/seg, pero sus aguas en este período, por falta de dilución, están altamente contaminadas y turbias. El nivel de agua es altamente dependiente de la precipitación pluvial en la cuenca tributaria y del efecto de remanso producido por el Río Acre. La variación de nivel se encuentra alrededor de 10 m, alcanzando niveles muy bajos de 1 a 1,5 m en épocas de estiaje.

La obra de captación está instalada en una estructura flotante con un solo equipo de bombeo y

una línea de impulsión, deficiente instalada. Por causa de crecimiento urbano, esta captación está ubicada aguas debajo de urbanizaciones tanto bolivianas como brasilenas que vierten sus aguas residuales en el arroyo.

La falta de una planificación urbana que regule los asentamientos humanos al ritmo del crecimiento de la población, la limitada capacidad económica municipal para dotar de una red de alcantarillado sanitario a estos nuevos asentamientos, sumado a la inexistencia de un sistema de gestión de residuos sólidos y líquidos que mejore o amplíe los sistemas de recolección y control de las descargas, han generado una problemática ambiental y social compleja en la cuenca media y baja del Arroyo Bahía.

El suministro presenta deficiencias de servicio en las zonas altas de la ciudad y la capacidad del sistema está limitada por la planta de tratamiento que puede operar con un caudal de 33 Lt/seg; el sistema es explotado durante 18 horas diarias. Cobija cuenta como principales fuentes de agua de abastecimiento público al Río Acre, que es el de mayor caudal, y a los arroyos Bahía y Virtudes, que son sus afluentes.

Con relación al uso en el futuro de aguas subterráneas, estudios preliminares muestran la dificultad de encontrar agua disponible y con calidad físico-química adecuada para consumo humano.

En cuanto a la cobertura del sistema de alcantarillado sanitario es mínimo en la ciudad de Cobija. Este servicio sólo funciona y con muchos problemas en los barrios donde se ejecutó el programa "Mejoramiento de Barrios", realizado por el Gobierno municipal a través de un convenio de préstamo con el Fondo Nacional de Desarrollo Regional y ejecutado en nueve barrios.

El alcantarillado pluvial sólo existe en el casco viejo de la ciudad y se encuentra totalmente colapsado, causando problemas en el enlozetado de esta área, y no existe ningún proyecto para solucionar el problema.

6. Conclusiones

En Bolivia por muchos años, tanto en el área urbana como en la rural, la mayoría de los planes o proyectos para el suministro, uso adecuado y sustentable del agua no han sido ejecutados por múltiples razones políticas y económicas, incluyendo el no haber logrado promulgar una nueva Ley del Agua (de la cual se han presentado más de 35 borradores para consideración legislativa) para reemplazar la obsoleta Ley del año 1906. Esto ha causado una carencia de integración y coordinación de los planes y/o proyectos de los numerosos organismos y organizaciones nacionales y locales, que actúan de forma casi autónoma. Esta integración y coordinación es absolutamente necesaria para buscar en forma conjunta y concertada soluciones viables al ciclo del agua.

6.1 Principales acciones dirigidas a contener las tendencias perjudiciales

Se sugieren las siguientes acciones urgentes, con la finalidad de controlar los procesos que ya afectan o amenazan el logro de los objetivos de la gestión de los recursos hídricos:

- Promulgar una nueva Ley del Agua concertada, ágil y de fácil aplicación con base en los artículos de la Constitución Política del Estado del año 2009.
- Elaborar sus reglamentos claros, precisos y de fácil implementación y control.
- Promulgar leyes complementarias a la Ley del Agua. Si es necesario, revisar, adaptar, redactar y promulgar leyes sectoriales específicas, que promuevan la preservación del ciclo del agua con la utilización de técnicas que economizan agua en todos sus usos y que facilitan su reúso en forma económica y eficiente.
- La gestión de agua debe integrar y relacionar el rol del Gobierno central con los espacios descentralizados de gestión y decisión democrática y participativa.
- Actualizar el Plan Nacional de Cuencas propuesto por el Ministerio del Agua en mayo de 2007, que utiliza a la cuenca hidrográfica como unidad básica de planificación y gestión del agua.
- Promover e implementar el desarrollo de mecanismos que contribuyan a la conservación y el uso sostenible e integral de los recursos hídricos

en cuencas transfronterizas, superficiales y subterráneas, y a la conservación y uso racional de los humedales.

- Ejecutar las obras de expansión y mejoramiento de los servicios de agua y saneamiento para asegurar la universalización de su acceso. La gestión de los recursos hídricos debe armonizar las necesidades actuales con las necesidades de generaciones futuras.
- Mejorar los sistemas de tarifas y cobro de los servicios de agua, mediante mecanismos que permitan subsidiar únicamente a la población en condiciones de vulnerabilidad y carenciada, e incentivar que el resto adopte conductas sostenibles y responsables.
- En la medida que sea económicamente factible, recuperar los ríos particularmente en las partes de los valles de inundación que fueron ocupadas por desarrollos urbanos o industriales, y eliminar fuentes de contaminación.
- Eliminar el vertido de efluentes no tratados, apoyando actividades que afrontan el costo del tratamiento, incluyendo la inversión original y su funcionamiento; y campañas de concientización de la población.
- Concientizar a los usuarios de agua subterránea la importancia de una gestión participativa, que asegure su aprovechamiento sostenible. Instalar sistemas de gestión del agua subterránea en todas las Gobernaciones Departamentales.
- Crear una base de datos, con información GIS, centralizada por el Ministerio del Medio Ambiente y Aguas, que incluya los permisos de perforación de pozos, licencias ambientales, el almacenaje de la información y datos técnicos obtenidos en la perforación de pozos.
- Promover un accionar más firme de los organismos que velan por el cumplimiento de las normas que prohíben la contaminación de los ríos, lagos y acuíferos.

6.2 Propuestas para el desarrollo de los recursos hídricos en las áreas prioritarias de agua y saneamiento

El principal desafío del país en el sector de agua potable y saneamiento es la universalización de estos servicios. Existe una imperiosa necesidad de abastecer a los millones de habitantes carentes de agua

potable y alcantarillado sanitario. Asimismo, es indispensable la ejecución de obras que aumenten el tratamiento de las aguas residuales. También se debe difundir y concientizar a los gobiernos locales, profesionales, técnicos y a todos los sectores de la población sobre el uso racional del agua y la protección de su calidad.

Por lo tanto, planteamos lo siguiente:

- a. Diseñar y ejecutar planes de inversión social económicamente sostenibles, que contemplen como prioridad la universalización de los servicios y que aseguren su financiación mediante la asignación de fondos en los presupuestos de organismos públicos.
- b. Mejorar la sostenibilidad económica de la prestación de agua y lograr una mayor racionalidad del régimen tarifario.
- c. Incrementar los niveles de eficiencia en la gestión de los operadores y en la eficacia de la coordinación entre sectores y jurisdicciones.
- d. Perfeccionar el sistema de información sobre la gestión y resultados.
- e. Promover la participación activa de la sociedad civil y de las autoridades locales a través de las siguientes acciones:
 - Fomentar y priorizar las inversiones en el sector, teniendo en cuenta los beneficios resultantes y el impacto que tienen en la salud pública, el medio ambiente, la cohesión social y la economía, incluyendo la reducción de la indigencia y la pobreza.
 - El manejo integrado de aguas residuales urbanas debería ser una prioridad nacional y debería estar incluido en los programas de manejo integrado de recursos hídricos a nivel de cuenca.
 - Establecer mecanismos explícitos de incentivos para la gestión eficiente de las empresas operadoras y el uso racional de los servicios. Los regímenes tarifarios deberían contener incentivos para la racionalización del consumo y de la oferta del agua, lo que podría lograrse mediante inversiones de mantenimiento para reducir las pérdidas en las redes de agua.
 - Fijar niveles tarifarios que posibiliten la cobertura de los costos de operación y man-

tenimiento, y por lo menos una parte de la amortización del capital, considerando subsidios para aquellos usuarios que no tienen capacidad de pago y sobre todo para tener en cuenta las externalidades ambientales negativas.

- Promocionar planes coherentes de recuperación urbana en todas las ciudades.
- Fortalecer las funciones de regulación y control en la prestación de los servicios, asegurando la capacidad técnica e independencia de acción de los organismos responsables.
- Mejorar los mecanismos legales e institucionales relacionados con la participación de la sociedad civil y de las autoridades locales, incluyendo la mejora en la difusión y comunicación de información sobre el desempeño de los operadores y autoridades de control, así como intensificar, fundamentalmente en las escuelas primarias y secundarias, las acciones de educación sobre la problemática del agua potable y saneamiento.

6.3 Ordenamiento y priorización de acciones para la gestión de los recursos hídricos

El Plan Nacional de Cuencas Hidrográficas constituye un instrumento estratégico para el manejo productivo y sostenible de los recursos hídricos. Analiza las potencialidades y problemáticas estableciendo una priorización de acciones e intervenciones a nivel de las cuencas hidrográficas. El potencial agrícola y forestal ha sido considerado como el factor más relevante para determinar las potencialidades, mientras que la erosión y la magnitud de la pobreza como los factores más limitantes.

Para cada uno de los sectores hidroecológicos se ha identificado el potencial de uso de los recursos agua-suelo-vegetación, además de las limitaciones de los suelos, erosión, clima, riego e inundación. Luego, los valores de potencialidades, limitaciones, degradación de los recursos naturales renovables y el índice de pobreza han sido ponderados para obtener el nivel de prioridad de intervención para cada uno de los sectores hidroecológicos.

6.4 Limitaciones y oportunidades

La descentralización ha establecido una nueva relación entre el Gobierno central y las unidades descentralizadas (departamentos, municipios). El Gobierno central sigue teniendo una función normativa, mientras que los gobiernos locales, municipales y regionales actúan en función de la resolución de problemas dentro su jurisdicción. Esta nueva realidad exige una mayor interacción en el Gobierno a diferentes niveles.

Las cuencas hidrográficas no coinciden con la jurisdicción administrativa que el Estado ha construido aplicando criterios territoriales y políticos. Esto dificulta la coordinación y la gestión integrada de los recursos hídricos.

Una oportunidad para resolver este problema es la Mancomunidad de Municipios que puede sobreponerse a la delimitación de cuencas y límites municipales, y por lo tanto generar instancias que se ocupen de la planificación e inversión del uso y manejo de las mismas.

Otra alternativa futura es la compatibilización de la delimitación de las tierras comunitarias de origen y de las áreas protegidas con las cuencas, ofreciendo un espacio propicio de gestión indígena o gestión por una unidad administrativa de los recursos hídricos.

7. Referencias

- Balance Hídrico de Bolivia. 1990.
- Bonavides Casto, Édgar (2006). Metropolización en Bolivia. La Paz: UNFA-ADEPO, Conurbación y Redes de Servicio.
- COSSALT (2007). Plan de Seguridad de Agua Para Tarija.
- FAO (2000). Inventario Nacional de Sistemas de Riego. La Paz: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural.
- GEOBOL (1985). Mapa Hidrogeológico de Bolivia. La Paz.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2013). Informe sobre Demandas Futuras y Estrategias de Expansión, Vol. I Crecimiento Demográfico. Plan Maestro Metropolitano de Agua Potable y Saneamiento. La Paz-El Alto.
- Marka, Luis G. (2009). Producción de aguas servidas, tratamiento y uso en Bolivia. La Paz: Dirección General de Riego, Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego.
- Núñez Villalba, Javier (2004). Diagnóstico territorial de los distritos rurales de Zongo y Hampaturi del Municipio de La Paz. Tesis de Grado. La Paz: Facultad de Geografía, UMSA.
- Plan Maestro Metropolitano de Agua Potable y Saneamiento La Paz-El Alto, Bolivia (2013). Informe sobre Demandas Futuras y Estrategias de Expansión. Volumen III Escenarios y Estrategias.
- Rojas, Franz (2010). Recursos hídricos de Bolivia. Centro del Agua para América Latina y El Caribe, Vol. 22. México: Tecnológico de Monterrey.
- Sauma Hadda, Juan Carlos (2006). Evaluación del manejo integral de la Cuenca del Río Piraí e identificación de servicios ambientales hídricos.
- Van Damme, P. (2002). Disponibilidad, uso y calidad de los recursos hídricos en Bolivia. La Paz: CONIAG-CGIAB.
- Vulnerabilidad de la salud humana en Bolivia (2000). Enfermedades sensibles al clima en Bolivia. La Paz.

8. Acrónimos

AAPOS

Administración Autónoma para Obras Sanitarias (Potosí)

A.A.P.S.

Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico del Ministerio de Medio Ambiente y Agua

COATRI

Cooperativa de Servicio de Agua Potable Trinidad

COMIBOL

Corporación Minera de Bolivia (Empresa estatal de minería)

CORPAGUAS

Corporación de Aguas (Programa Nacional para Desarrollar Sistemas de Administración y Gestión del Agua Potable y del Alcantarillado Sanitario)

COSAALT Ltd.

Cooperativa de Servicios de Agua y Alcantarillado de Tarija

COSAPCO

Cooperativa de Suministro de Agua Potable de Cobija

CTRL

Comités Técnicos de Registros y Licencias de la A.A.P.S.

DAR

Drenaje ácido de rocas

ELAPAS

Empresa Local de Agua Potable y Alcantarillado Sucre

EPSAS

Empresa Pública Social de Aguas y Saneamiento

FNRD

Fondo Nacional de Desarrollo Regional

FIS

Fondo de Inversión Social

GtZ

Agencia Alemana de Cooperación Internacional

HAM

Honorable Alcaldía Municipal (La Paz)

JICA

Japan International Cooperation Agency

KfW

Organización alemana

Lt/seg

Litros por segundo

OMS

Organización Mundial de la Salud

PETAS

Planta Especial de Tratamiento de Aguas Servidas (Oruro)

PTAR

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

SAGUAPAC

Cooperativa de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario (Santa Cruz de la Sierra)

SeLA

Servicio Local de Acueductos y Alcantarillado (Oruro)

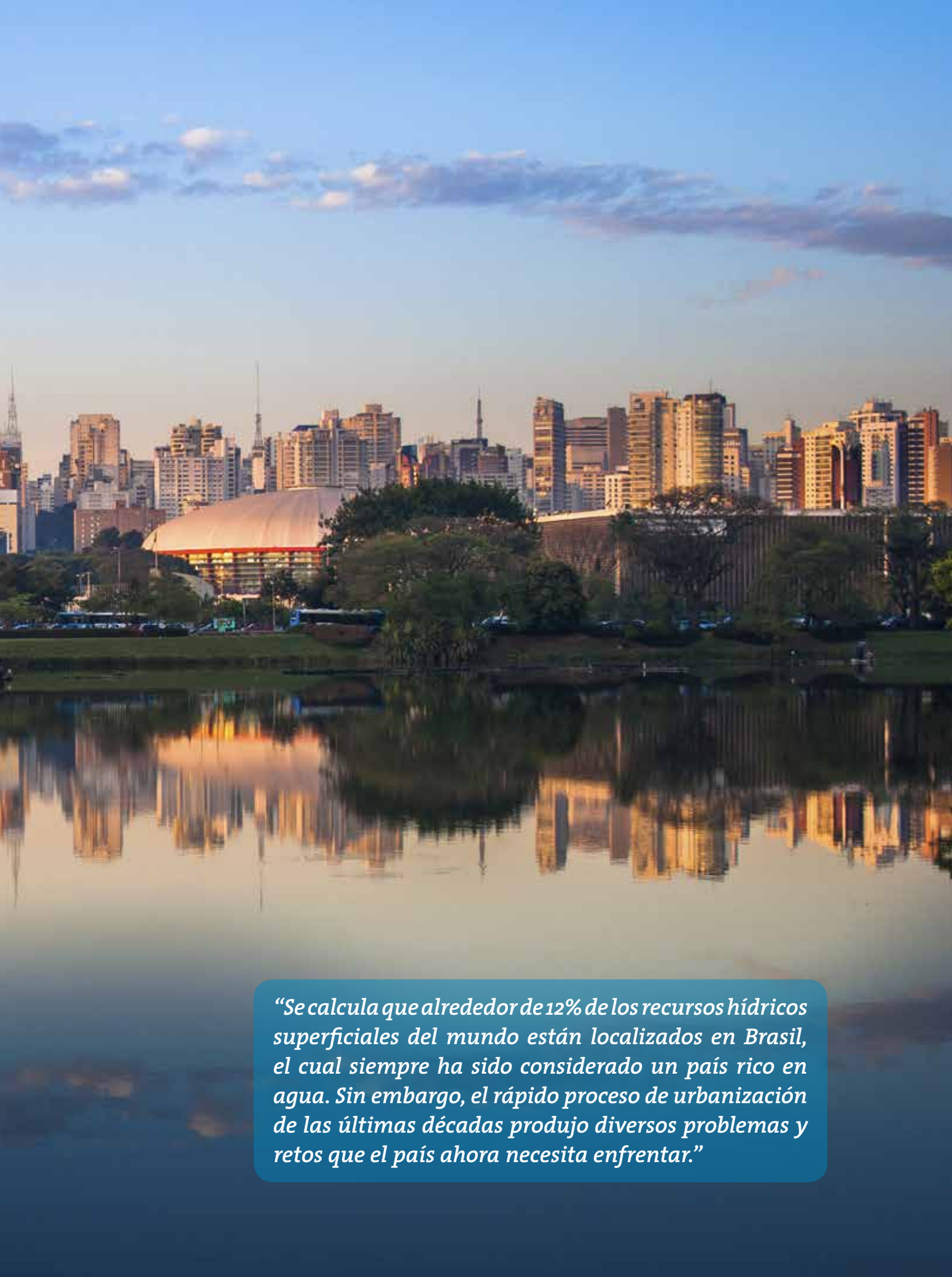
SEMAPA

Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (La Paz)

Brasil



Vista de San Paulo, Brasil, desde el Parque Ibirapuera. Éste es uno de los parques más grandes de Latinoamérica.
Foto: ©iStock.com/alfoto.



“Se calcula que alrededor de 12% de los recursos hídricos superficiales del mundo están localizados en Brasil, el cual siempre ha sido considerado un país rico en agua. Sin embargo, el rápido proceso de urbanización de las últimas décadas produjo diversos problemas y retos que el país ahora necesita enfrentar.”

El Agua Urbana en Brasil

José Galizia Tundisi, Carlos Eduardo Morelli Tucci,
Fernando Rosado Spilki, Ivanildo Hespanhol,
José Almir Cirilo, Marcos Cortesão Barnsley Scheuenstuhl
y Natalia Andricioli Periotto

Resumen

En Brasil, el acelerado proceso de urbanización de las últimas décadas ha traído numerosos retos como una mayor demanda de agua, soluciones para tratar adecuadamente grandes volúmenes de aguas residuales, alternativas para la disposición de residuos sólidos y el acceso a servicios de agua urbana para toda la población.

Es necesario un plan de Gestión Integrada de Agua Urbana para cada pueblo, especialmente en regiones metropolitanas. Este plan debe abordar cuestiones como la integración de inversiones y de planes de acción para regiones urbanas de la misma cuenca, la capacitación de profesionales que controlan los servicios de agua urbana y gestionan las cuencas hidrográficas, la recuperación de áreas verdes, que son cruciales para la recarga de las aguas subterráneas así como para el mantenimiento de la calidad y de la cantidad del agua. También es esencial el control de calidad del agua que se distribuye, con el fin de evitar riesgos para la salud humana como la gastroenteritis y el cólera.

Debido a la creciente demanda de agua, al aumento de la contaminación del agua, y para prevenir el deterioro de los recursos hídricos no contaminados de las regiones metropolitanas, la reutilización del agua se ha convertido en una solución potencial para evitar la importación de agua de otras cuencas. Por otro lado, la transportación del agua puede ser la mejor alternativa para regiones semi-áridas, donde hay escasez de recursos hídricos.

1. Introducción: Retos para la gestión estratégica de ciudades en el siglo XXI

En la actualidad más de 60% de la población mundial se concentra en regiones urbanas. La gran expansión urbana de las últimas décadas del siglo XX y la primera del XXI, trajo innumerables problemas de disponibilidad y distribución de agua, de eliminación de residuos del suelo, de uso del suelo y de drenaje.

Las ciudades son el motor del desarrollo económico y social en este siglo XXI. En todo el planeta tenemos, hasta el momento, 600 ciudades que representan un producto bruto de 65 billones de dólares; es decir, más de la mitad del producto bruto mundial, de 113 billones de dólares. Dichas ciudades son polos de desarrollo tecnológico, industrial, comercial y de servicios. En América Latina, 57 ciudades tienen este fundamental papel respecto a la economía del continente sudamericano.

La urbanización exige más agua y más energía; produce más residuos (sólidos y aguas residuales) y degrada las zonas forestales. La contaminación del aire, del suelo y del agua es consecuencia de este crecimiento urbano. Esto genera presiones económicas para que los municipios resuelvan los problemas generados por estos impactos, los cuales tienen consecuencias en la economía y en la salud del ser humano.

La gestión de las ciudades, en general, no tiene planes estratégicos ni integrados. Estos deben expresarse en un Plan Maestro que debe ser el lugar donde se resume la integración de todos los planes –económico, de infraestructura y social con una visión sistemática. Para un crecimiento económico sostenible es necesario trabajar en equipo, tener en cuenta a la ciudad como un sistema complejo y dinámico; integrar el desarrollo económico con procesos sociales y ambientales, al igual que promover innovaciones en materia de salud pública, educación y acceso a la información.

Un saneamiento básico y un 100% de distribución de agua que en combinación, proporcionen acceso adecuado a todos los habitantes, es otro desafío. Las áreas periurbanas de las ciudades chicas, medianas o grandes son vulnerables a los problemas de distribución de agua, de tratamiento de aguas residuales y de necesidad de mejorar el saneamiento.

Las problemáticas del agua en zonas urbanas tienen un vínculo directo y relevante con respecto a la salud humana y a la calidad de vida de la población. Los problemas de salud en el ser humano causados por enfermedades transmitidas a través del agua tienen un impacto económico en las ciudades. La educación sanitaria de la población, así como las prácticas individuales y colectivas de saneamiento y prevención, son las mejores actitudes para promover un ambiente sano en las ciudades.

El uso de los espacios verdes como parques forestales o estaciones ecológicas es otra política pública

que puede ayudar considerablemente en el mantenimiento del ciclo del agua y de su disponibilidad. El tratamiento de las aguas de fuentes protegidas es mucho más económico que el tratamiento de las aguas de fuentes no protegidas.

Mediante la combinación de proyectos de protección y distribución de agua, de tratamiento de aguas residuales y de reforestación con especies nativas, el ciclo del agua en las regiones urbanas puede ser mejorado en gran medida, considerando el suministro y la calidad del agua. Esto incluye el agua superficial y también la de fuentes subterráneas.

La reutilización del agua es fundamental para la mejora del ciclo del agua en las ciudades. La reutilización de aguas residuales tratadas para varios propósitos puede aliviar la presión sobre las fuentes de agua naturales. Por último, la movilización de la población urbana con el fin de que participe activamente en la reducción de la demanda de agua, en la mejora de la calidad del agua y en la protección de las fuentes de agua, es esencial.

Por lo tanto, la integración de medidas estructurales (restauración de ríos, reforestación) con medidas no estructurales, como la educación ambiental, es un proceso fundamental en el manejo del agua urbana en América Latina.

La gestión de las ciudades puede ser avanzada y creativa si un verdadero programa de desarrollo y un enfoque de modernización se combinan para promover un crecimiento sostenible. La continuidad de los programas de infraestructura, educación y medio ambiente es una medida primordial con consecuencias sociales y económicas a largo plazo. Los problemas de agua en zonas urbanas están en el centro de esta agenda.

2. Sistemas Urbanos

2.1 Conceptos de procesos de urbanización y aguas urbanas

Los sistemas urbanos son primordialmente áreas de consumo y vivienda. Están limitados por áreas con alta densidad de población, sostenidos por sistemas biofísicos de mayor cobertura que el área urbana (Rees, 2003). Un sistema urbano tiene diferentes tamaños o integra varios espacios urbano-rurales como una región metropolitana.

En 1900, 13% de la población mundial era urbana; en 2007 la tasa se incrementó hasta llegar a 49.4%,

ocupando sólo 2.8% del territorio mundial. En 2050 se prevé que 69.6% de la población mundial será urbana (ONU, 2009). El mundo se está volviendo cada vez más urbano como resultado del desarrollo económico y de la distribución de empleos. En los países desarrollados la población está estabilizada y la población urbana ya es amplia, pero en los países en desarrollo la población sigue aumentando; en 2050 la población mundial será de unos 9000 millones y la mayor parte de su crecimiento será en las ciudades (ONU, 2009).

El desarrollo urbano se aceleró en la segunda mitad del siglo XX con la concentración de la población en espacios reducidos. Países como Brasil pasaron de tener 50% de población urbana en 1970, a 86% en la actualidad, ocupando así sólo 29% de la superficie del país con una densidad urbana promedio¹ de 65 personas por hectárea (6,500 por km²) (Embrapa, 2008). Sin embargo, los dos países con mayor población, India y China, respectivamente, tienen menos del 40% de población urbana y se están moviendo hacia este escenario de urbanización (ONU, 2009).

La urbanización aumenta la competencia por los mismos recursos naturales (aire, tierra y agua) en un espacio pequeño para las necesidades humanas de vida, producción y servicios. El medio ambiente de los recursos naturales y la población (socio-económica y urbana) es un ser vivo y dinámico que genera un conjunto de efectos interconectados y que, si no se controla, puede conducir a la ciudad a un caos.

En el medio urbano la fuerza impulsora es la urbanización. La infraestructura del agua urbana, en general, incluye tanto el suministro de agua como los servicios de saneamiento. El saneamiento se refiere a la recolección y tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. Éste no incluye los sistemas urbanos de aguas pluviales o de manejo de residuos sólidos. *Las instalaciones relacionadas con el agua urbana* ofrecidas por las ciudades comprenden abastecimiento de agua, saneamiento, aguas pluviales y residuos sólidos. Se trata de componentes de un medio ambiente urbano sostenible que incluye la conservación del medio ambiente, la salud y aspectos socio-económicos del desarrollo urbano.

El principal problema relacionado con la ciudad y sus elementos ha sido la forma incompleta a través de la cual se desarrolla la gestión. Usualmente

el Plan Maestro Urbano no toma en cuenta todas las infraestructuras, como es el caso de las aguas urbanas. Las instalaciones de agua urbana también están fragmentadas, ya que por lo general no hay una sola institución que cubra todos los servicios ni tampoco existe integración entre las instituciones. El rendimiento es pobre y no se cuenta con indicadores de eficiencia.

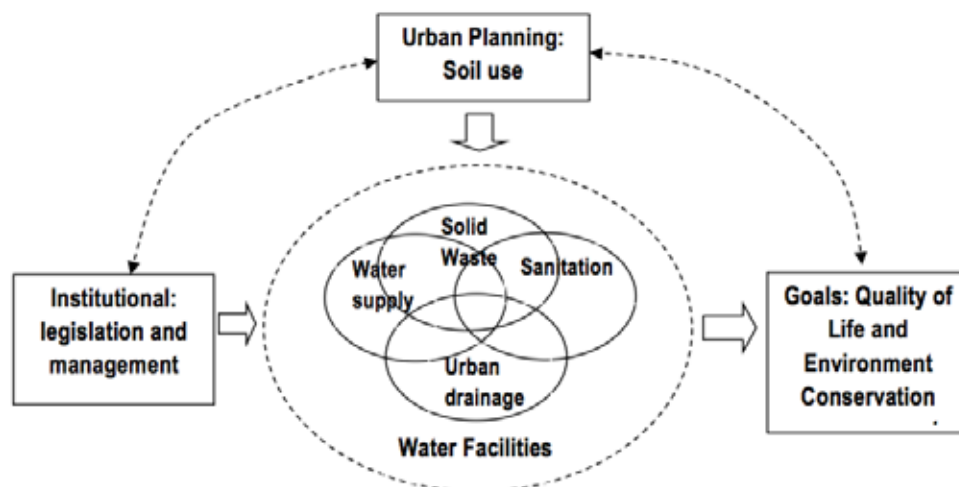
La infraestructura de agua urbana debe distribuir agua potable a la población (suministro de agua); recoger y tratar las aguas residuales producidas por la ciudad antes de que lleguen de nuevo a los ríos, con el fin de proteger el medio ambiente y sus recursos hídricos (conservación para el futuro), así como evitar la transmisión de enfermedades (saneamiento); desarrollar sistemas de aguas pluviales después de la ocupación urbana y mitigar sus efectos; recoger los residuos sólidos y depositarlos en lugares adecuados, evitando así la propagación de desechos humanos en el sistema natural a través del drenaje (residuos sólidos). Como puede observarse, los principales objetivos de estos servicios se relacionan con la seguridad (control de inundaciones del drenaje urbano), la salud y la conservación del medio ambiente. El medio ambiente en un ecosistema urbano está también vinculado con otras acciones medioambientales ligadas al suelo y al aire, las cuales se encuentran igualmente relacionadas con la gestión del agua.

La Gestión Integrada de Recursos Hídricos ha sido la principal herramienta para el desarrollo adecuado para el mantenimiento del agua a nivel de cuenca. La ciudad es parte de una gran cuenca o incluye diversas cuencas pequeñas dentro de su espacio. La ciudad utiliza agua de río arriba en la cuenca para su abastecimiento y envía su efluente río abajo, también en la cuenca. Estos son los componentes externos de la ciudad, los cuales deben ser gestionados a la par de la cuenca principal, que soporta estos límites.

En el entorno urbano, GIAU se refiere específicamente a la Gestión Integrada de Aguas Urbanas (GIAU). GIAU incluye la gestión de las instalaciones de agua y sus interacciones (Figura 1). Estas interacciones incluyen el desarrollo urbano (controlador basado en el desarrollo económico y social de la ciudad), el medio ambiente y la salud (objetivos principales), así como los componentes institucionales, representados por el marco legal, la gestión, la capacitación y la supervisión.

1. La densidad urbana es la cantidad de población en el área urbana, y la densidad de población de un estado, país o región es la población total dividida entre su superficie.

Figura 1. Componentes de la Gestión Integrada de Aguas Urbanas (GIAU).



Fuente: Tucci, 2009.

2.2 Urbanización en los países en desarrollo

La urbanización aumenta con el desarrollo económico, ya que los empleos y los ingresos cambian de la agricultura hacia los servicios y la industria, así como con la mejora de la infraestructura para la educación, las compras, la vivienda y las instalaciones en general. Desde el siglo pasado grandes ciudades se han desarrollado como el área metropolitana de São Paulo en Brasil, que tenía cerca de 200 mil habitantes al inicio del siglo XX y 17 millones al final, lo cual representó una tasa media de crecimiento anual de 8,5%. Hay 388 ciudades en el mundo con más de 1 millón de habitantes (McGranahan y Marcotulio, 2005) y 16 con más de 10 millones. Se prevé que en 2010 habrá 60 ciudades con una población superior a 5 millones.

Hay una fuerte correlación entre la densidad de población y la producción económica, lo cual explica que las áreas urbanas sean centros de productores, compradores, vendedores, trabajadores y empresas. El PIB del país crece con el aumento de la población en grandes asentamientos. Los países con altos ingresos tienen a 52% de su población en grandes asentamientos (>1 millón) y los países de bajos ingresos sólo al 11%. Cuando el país crece su PIB, la tendencia es que aumente la proporción de consumo de la población urbana *vis-à-vis* la población total (Banco Mundial, 2009).

En las ciudades de los países en desarrollo, parte de la población vive en zonas irregulares o informales generalmente llamadas tugurios (barrios marginales). El incremento de los barrios marginales ha sido significativo, y el aumento de su densidad es causa de preocupación, ya que la mayor tasa de crecimiento de población ocurre principalmente entre los habitantes de bajos recursos. Los tugurios están sobrepoblados con viviendas de mala calidad, donde habita gente con bajos ingresos, que ocupa áreas no reguladas y sin derechos de propiedad. Por lo tanto, existen la ciudad formal y la informal. La gestión urbana suele alcanzar a la primera. En cambio, la población de la ciudad informal carece de la mayoría de servicios como abastecimiento de agua, saneamiento, drenaje y disposición de residuos sólidos. Estos asentamientos son entornos favorables para el desarrollo y propagación de enfermedades.

Los principales problemas relacionados con la infraestructura y la urbanización en los países en desarrollo son:

- **Grandes concentraciones de población en áreas pequeñas**, con sistemas de transporte inconvenientes, así como servicios inadecuados de suministro de agua, saneamiento, contaminación de agua y aire, e inundaciones. Estas condiciones ambientales inadecuadas reducen las condiciones de salud y la calidad de vida de la población, provocan impactos ambientales y son

la principales limitaciones para un desarrollo sustentable.

- **El aumento de los límites de la ciudad** de modo incontrolado por la migración rural en busca de empleo. Por ejemplo, Manaos, en la cuenca del Amazonas, en Brasil, recibió en 2004 cerca de 40 mil migrantes atraídos por la oferta de empleo. Esta ocupación provoca impactos en las cuencas que normalmente abastecen a la ciudad y, del mismo modo, aumenta los riesgos de contaminar dicha fuente. Estos barrios, en general, carecen de seguridad, de una infraestructura tradicional para el agua, alcantarillado, drenaje, transportación y recogida de residuos sólidos, y están dominados por grupos criminales usualmente vinculados con el narcotráfico.
- **La urbanización es espontánea** y la planeación urbana se realiza para la parte de la ciudad ocupada por la población de ingresos medios y altos. Los tugurios se desarrollan de acuerdo a un mercado informal de áreas públicas o sin control, las cuales son invadidas por los pobres. Estos asentamientos pueden convertirse en áreas de riesgo, como aquellos lugares propensos a inundaciones y deslizamientos de tierra, con muertes frecuentes durante los periodos de lluvia.
- **La planificación urbana** se lleva a cabo para la ciudad formal, mientras que la ciudad informal se desarrolla de un modo espontáneo, por lo general cerca de las fuentes de trabajo o mercados de la población de bajos ingresos.
- **Limitada capacidad institucional de las comunidades** que carecen de: legislación, aplicación de la ley, mantenimiento de las instalaciones, apoyo técnico y fondos económicos. Usualmente las ciudades gestionan las áreas de ingresos económicos donde la legislación se hace cumplir y los derechos de propiedad están regulados; aquí decimos que se trata de la ciudad regulada. En la ciudad no regulada, por lo general, no hay suficientes servicios e instalaciones para la población. Las ciudades no están preparadas para planificar y gestionar este complejo desarrollo humano.
- **Falta de Gestión Integrada de Aguas Urbanas:** la mayor parte de la gestión de agua y saneamiento en las ciudades no toma en cuenta todos los componentes de los servicios de aguas urbanas, dando como resultado: la interconexión de las

redes de aguas pluviales y de aguas residuales, la falta o ineficiencia del tratamiento de las aguas residuales domésticas, el aumento de las inundaciones en el drenaje urbano², las pérdidas en los sistemas de distribución de agua, los residuos sólidos en el drenaje, la erosión, la ocupación de áreas de riesgo en las llanuras de inundación y laderas (lo cual ha sido la principal causa de muerte durante las tormentas), la limpieza de la basura y la educación limitadas, entre otros.

2.3 Aguas urbanas en los países en desarrollo

2.3.1 Panorama

El agua es suministrada por fuentes de las cuencas de río arriba, cuencas vecinas o aguas subterráneas (o una combinación de estas opciones). Después de que el agua es usada por la población se dirige hacia los arroyos o es tratada en tanques sépticos y enviada a las aguas subterráneas, con lo cual pueden desbordarse el drenaje y los ríos. Este sistema de tratamiento es altamente ineficiente, ya que deja una importante carga a los ríos y a las aguas subterráneas. De esta manera, los ríos contaminados no pueden ser usados como fuentes de suministro de agua. **Las prácticas de abastecimiento y saneamiento de agua utilizan agua limpia de río arriba (no tanto, en realidad!) y descargan el agua contaminada río abajo.** Dado que el desarrollo urbano se extiende río arriba, la mayoría de las cuencas allá está o estará contaminada y la fuente de agua limpia se habrá perdido. Además, la urbanización también podría competir con la agricultura en lo que se refiere a espacio y agua.

Debido a que en muchos casos la ciudad no tiene la capacidad de suministrar toda el agua necesaria, la población encuentra su propia solución mediante el bombeo de las aguas subterráneas, lo cual genera el riesgo de extraer agua contaminada (acuífero superficial) o salada (en zonas costeras).

La urbanización aumenta las áreas impermeables y la canalización, lo cual incrementa el pico de crecida y la frecuencia de las inundaciones con la misma cantidad de lluvia. La urbanización también

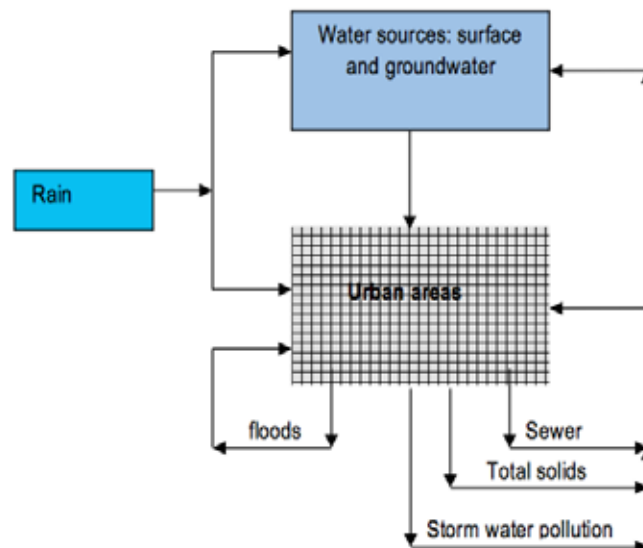
2. Dichas inundaciones son ocasionadas por una urbanización realizada con mala y obsoleta ingeniería, por la corrupción vinculada con el alto costo del diseño y por la falta de medidas institucionales.

incrementa la velocidad del flujo y la producción de sólidos (sedimentos y residuos sólidos). Debido a la falta de servicios, la mayor parte de los residuos sólidos llega a los ríos, con lo cual se disminuye su capacidad de flujo (e incrementa la frecuencia de las inundaciones) y se aumenta la polución, ya que la mayoría de las aguas pluviales contaminadas llega a los ríos junto con los sólidos. El bombeo de aguas subterráneas, al igual que la reducción de la filtración causada por las áreas impermeables, podría crear subsidencia en zonas bajas de tierra, lo cual disminuye la capacidad del drenaje debido a la gravedad y al aumento de frecuencia en las inundaciones. En este escenario, el área puede verse inundada por aguas de río arriba y por el mar (en ciudades costeras).

En resumen, las aguas urbanas en muchos países en desarrollo se encuentran en un ciclo de contaminación y los problemas principales son (Figura 2):

- **Contaminación de las fuentes de abastecimiento de agua** (arroyos y aguas subterráneas) por los desarrollos así como por aguas residuales y dispersión de cargas no tratadas. El deterioro de la calidad del agua causado por la falta de tratamiento de las aguas residuales ha creado riesgos potenciales en diversas condiciones del suministro de agua para la población, y lo más crítico ha sido la ocupación de las áreas de los embalses
- **Falta de tratamiento de aguas residuales:** una gran parte de las ciudades no tiene redes de alcantarillado ni plantas de tratamiento. Las aguas residuales se liberan en el drenaje pluvial, el cual fluye en corrientes urbanas.
- La urbanización aumenta las áreas impermeables lo cual **incrementa las inundaciones** y disminuye la filtración hacia los acuíferos. **Las áreas impermeables y la canalización** de ríos urbanos, aumentan el flujo de las inundaciones (alrededor de siete veces) y su frecuencia, acrecientan la erosión, las áreas degradadas y la cantidad de sólidos río abajo que afectan la calidad de los arroyos urbanos.
- Ocupación de las zonas de riesgo como las llanuras aluviales y las laderas de los cerros, que sufren abundantes inundaciones y deslizamientos de tierra, ocasionando frecuentes muertes. En Santa Catarina, Brasil, 110 personas murieron como consecuencia de una serie de eventos en noviembre de 2008.
- Contaminación de las aguas pluviales y zonas agrícolas.

Figura 2. El ciclo de contaminación en las aguas urbanas de los países en desarrollo.



- El uso de las aguas subterráneas por la población y la reducción de la filtración incrementa el **subsistencia de la tierra** así como las situaciones de inundación en zonas bajas.
- La falta de gestión de los residuos sólidos totales disminuye la capacidad de caudal de los ríos debido a la **sedimentación, lo cual aumenta la frecuencia de las inundaciones**.

El resultado de todo esto es el alto impacto en el medio ambiente de la cuenca, las áreas costeras y la salud de la población. La combinación de todos estos factores mantiene en riesgo el futuro de esta región metropolitana. Debido a que el área urbana es el motor económico del país, dichas condiciones insostenibles pueden provocar un riesgo importante para su futuro desarrollo.

2.3.2 Riesgos principales

Esta condición indica que la fuente de los problemas es la forma incontrolada e insostenible en que la urbanización se desarrolla en la ciudad. Los principales riesgos son:

- I. **Salud de la población:** algunos de los riesgos son:
 - la falta de tratamiento de los efluentes y de una apropiada recolección y disposición de residuos sólidos crea una fuente interna de contaminación que puede contribuir a la propagación de diversos tipos de enfermedades e incluso generar un escenario de epidemia.
 - La contaminación de fuentes de agua como los embalses, por nutrientes, genera la propagación de las algas y el riesgo de toxicidad en el suministro de agua.
 - La propagación de enfermedades relacionadas con la eutrofización de los embalses y las toxinas en el agua; en el caso de las inundaciones, enfermedades como leptospirosis y hepatitis.
 - la contaminación de las aguas subterráneas y del suministro de agua de la población que utiliza ese tipo de agua.
- II. **Inundaciones:** aumento del riesgo de inundaciones, la frecuencia y el daño para la población, especialmente los pobres. Esta vulnerabilidad reduce las condiciones económicas de la región y del país.

- III. **Deterioro ambiental:** las zonas degradadas por la erosión, los entornos del río y de la costa están disminuyendo su capacidad de resiliencia debido a tanta carga de depósitos en el sistema. Por lo general la población paga por el deterioro del medio ambiente. La población está recibiendo un subsidio medioambiental.
- IV. **Disminución del agua potable:** la falta de agua potable desde río arriba, y de capacidad de distribución, no dejan alternativa a la población, que intentará encontrar sus propias soluciones, las cuales suelen ser más arriesgadas y más caras. El precio internacional de 1m³ de agua potable en las pipas usualmente se encuentra entre US\$1 y US\$3. Considerando el agua embotellada en garrafones de 20 litros el precio de 1m³ está entre US\$200 y US\$300, y tomando en cuenta el precio de una botella de ½ litro en el metro de Amsterdam, un 1m³ de agua sale en US\$7,500.
- V. **En general:** la vulnerabilidad de la población va en aumento y la capacidad de resiliencia ante las cuestiones de las aguas urbanas está disminuyendo con este tipo de desarrollo no sostenible.

2.3.3 Relación entre causas y efectos

El desarrollo urbano normalmente ocurre sin control en muchas ciudades de los países en desarrollo. La ocupación urbana ha sido desarrollada sin un Plan Maestro Urbano que tome en cuenta la sustentabilidad de las aguas urbanas. Se desarrolla desde río abajo hacia río arriba, comprometiendo así las fuentes de agua e incrementando las condiciones de inundación. La Tabla 1 muestra algunas relaciones entre el desarrollo urbano y sus impactos.

La gestión de las aguas urbanas está fragmentada entre muchas instituciones en las áreas metropolitanas. Hay muchos y diferentes planes y proyectos que se encuentran en conflicto entre sí. El desarrollo institucional es complejo debido a los cambios de gobierno, al reforzamiento de la ley de aguas y su aplicación por las autoridades de los recursos hídricos en las cuencas. Es una combinación de instituciones en distintos niveles: gobierno central, estatal y local, sin integración. Como resultado, la planificación y el desarrollo en la cuenca han sido fragmentados por acciones aisladas distribuidas en la zona.

La gestión presentó las siguientes cuestiones:

- **Falta de acuerdos institucionales** que permitan soluciones integrales para el agua urbana del

- área metropolitana y para la cuenca que suministra a la región.
- Había muchas inversiones fragmentadas en la gestión de las inundaciones que tomaban en cuenta sólo un tipo de solución (y cara): transferir las crecidas máximas a las aguas de río abajo sin tener en cuenta el futuro del crecimiento urbano. **La falta de inversiones estratégicas integradas** para el abastecimiento de agua y saneamiento en el área metropolitana en general.
 - **Falta de conocimiento:** entre la población y los profesionales de diferentes campos que no tienen la información adecuada sobre los problemas y sus causas. Por lo tanto, las decisiones tomadas dan como resultado altos costos, y que algunas compañías tomen ventaja de esto para aumentar sus ganancias.
 - **Un conocimiento conceptual pobre entre los profesionales de ingeniería para la planificación y control de los sistemas:** una parte importante de los ingenieros que intervienen en las áreas urbanas no tiene información actualizada sobre las cuestiones medioambientales y, en general, busca soluciones estructurales que alteran el medio ambiente, crean un exceso de áreas impermeables y un consecuente aumento de la temperatura, inundaciones, contaminación y otros problemas.
 - **Vistas sectoriales de la planificación urbana:** la planificación y el desarrollo de las zonas urbanas se llevan a cabo sin considerar factores relacionados con diferentes aspectos de la infraestructura del agua. Una parte importante de los profesionales que actúan en esta área tiene una visión sectorial limitada.
 - **Falta de capacidad de gestión:** los municipios no cuentan con estructuras para la planificación y gestión de los diferentes aspectos relacionados con el agua en el medio urbano.

2.4 Recomendaciones para una gestión integrada de agua urbana

2.4.1 Metas y objetivos

Los objetivos de la gestión de agua urbana deben ser los siguientes:

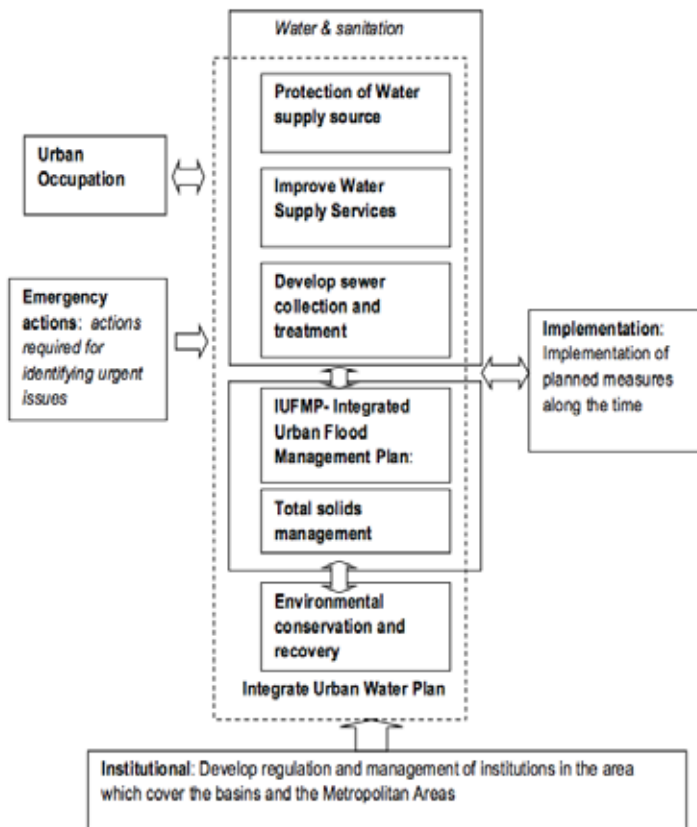
- Distribuir agua potable para el consumo humano, animal, industrial y comercial.
- Mejorar la conservación, evitar la degradación de zonas de erosión, tratar las aguas residuales y los efluentes de aguas pluviales, minimizar los sólidos en los arroyos procedentes de los asentamientos urbanos.
- Reducir la vulnerabilidad ante las enfermedades y las inundaciones.

Tabla 1. Relaciones de causas e impactos en las aguas urbanas.

Causa principal	Aspectos específicos	Impactos
Desarrollo urbano no sostenible	Alta densidad, áreas impermeables, superficies no protegidas y sedimentos	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento en la frecuencia de inundaciones; • Mayor producción de sedimentos; • Reducción del transporte fluvial;
Falta de servicios de agua urbana	Población sin suministro de agua; falta de recolección y tratamiento del alcantarillado; falta de servicios para los residuos sólidos; falta de drenaje urbano y de gestión de control de inundaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación de fuentes de agua; • Uso de agua contaminada y enfermedades; • Reducción de transporte fluvial; • Pérdidas ambientales; • Subsistencia del terreno.
Mala gestión	Obras insostenibles como canales, conductos, etc.	<ul style="list-style-type: none"> • Transferencia de las inundaciones; • Pérdidas en las inversiones; • Falta de servicios de agua urbana

Fuente: Tucci, 2009.

Figura 3. Marco de las principales actividades.



Fuente: Tucci, 2009.

Las principales acciones para desarrollar una estrategia sólida para la gestión integrada del agua urbana son:

- **Desarrollo urbano sostenible.** Desarrollo de nuevas normas urbanas que tomen en cuenta la sostenibilidad en materia de agua: (i) límites para la densificación y áreas impermeables; (ii) reserva de áreas para parques y gestión de inundaciones; (iii) restricciones e incentivos económicos para la conservación de las cuencas de origen urbano.
- **Proteger las fuentes de abastecimiento de agua.** Regular la ocupación de la cuenca de abastecimiento de agua; controlar la carga de la cuenca de abastecimiento de agua; mejorar su calidad de agua.
- **Mejorar la distribución de suministro de agua.** Desarrollo de un programa de inversión con el fin de aumentar la red de abastecimiento de agua y mejorar la calidad del suministro de agua.
- **Desarrollar un sistema de tratamiento de resi-**

duos. Invertir en los sistemas de recolección y tratamiento para todas las áreas urbanas;

- **Gestión del control de inundaciones.** Elaborar una regulación para el nuevo desarrollo, que controle el aumento de inundaciones en el futuro; desarrollar planes de gestión de inundaciones para cada cuenca;
- **Gestión sólidos totales.** Desarrollar servicios efectivos para los sólidos totales con el fin de disminuir la cantidad de sólidos en el sistema de drenaje.
- **El agua y la conservación del medio ambiente.** Control de la contaminación de aguas pluviales, recuperación de zonas seleccionadas.

Estos objetivos han de ser alcanzados para lograr una gestión integrada y generar acciones interrelacionadas dentro de un espacio que abarca más de una cuenca. El desarrollo de este plan integral requiere una revisión de las estrategias sobre las tres mayores fuentes de agua y el área metropolitana, además de grandes inversiones durante un periodo más largo. Cada componente del plan requiere metas y estrategias específicas.

Para lograr estos objetivos deben tomarse los siguientes pasos:

- **Evaluación de los problemas del agua urbana:** identificación de los problemas en las aguas urbanas y los aspectos relacionados.
- **Planes y estrategias:** desarrollo de un plan para solucionar los problemas del servicio de agua urbana en la ciudad.
- **Plan de acción:** aplicación oportuna de estrategias para las aguas urbanas, tomando en cuenta las necesidades y los aspectos económicos y financieros de las inversiones.

2.4.2 Planes y estrategias:

Los principales planes y estrategias para la gestión del agua urbana en la ciudad son (Figura 3):

- **Ocupación urbana:** desarrollar o revisar el Plan Maestro Urbano con el fin de incluir la regulación vinculada con las aguas urbanas;
- **Agua y saneamiento³:** está relacionado con la protección de las fuentes de abastecimiento de

3. Por lo general el saneamiento incluye los sistemas de alcantarillado, drenaje urbano y control de sólidos totales. Aquí sólo estamos considerando los sistemas de alcantarillado.

agua, la distribución del agua potable y la recolección y tratamiento del alcantarillado.

- **Sólidos totales:** es también un plan para mejorar el servicio y reducir tanto la cantidad de sólidos en los sedimentos como de los residuos sólidos que alcanzan el sistema de drenaje.
- **La gestión de las inundaciones y el drenaje urbano** implican el desarrollo de las medidas descritas en la sección 2.3 para un plan efectivo en cuanto al control de inundaciones.
- **Medioambiente:** se trata de un plan para la recuperación de áreas degradadas en la zona metropolitana y para una recuperación a largo plazo del medio ambiente de ríos y costas, después de que se presten los servicios descritos en los otros puntos.
- Con el fin de contar con planes viables en cuanto a su implementación, se necesita la **construcción institucional de la gestión del agua** en la cuenca y en el ámbito estatal.

El desarrollo de este plan integral es un importante reto, ya que la mayoría de estos programas suele desarrollarse de un modo independiente, sin conexiones entre sí y, algunas veces, en condiciones conflictivas. La principal dificultad es la identificación de profesionales calificados que comprendan los aspectos superpuestos y las cuestiones que deben ser resueltas de una forma integral.

3. Servicios de suministro de agua

3.1 Panorama

Como se ha mencionado, una de las cuestiones principales que debe gestionarse en los sistemas urbanos es el suministro de agua. En general, la distribución de agua tratada es adecuada para 90% de la población. En cuanto a la calidad del agua de las fuentes, hay varios impactos como la falta de tratamiento de las aguas residuales, la deforestación, el inadecuado o no planificado uso del suelo, y la contaminación de aguas superficiales y subterráneas.

La introducción de una gestión integrada de las cuencas urbanas, la necesidad de incluir las cuestiones de recursos hídricos en el Plan Maestro de las ciudades, la protección de las fuentes de agua y el monitoreo permanente del agua disponible frente

a la demanda de agua, son algunas de las medidas posibles para promover una mejor gestión de los servicios de abastecimiento de agua.

La pérdida de agua tratada en la red de distribución urbana es de 30%. La introducción de nuevas y avanzadas tecnologías para el tratamiento del agua y las aguas residuales, la protección de los bosques urbanos, la reducción de las pérdidas y el avance en la legislación de aspectos como el pago por servicios ambientales, son algunas posibilidades para mejorar la gestión. La educación y el fortalecimiento de las capacidades de los administradores juegan un rol fundamental en el proceso.

3.2 Urbanización y fuentes de agua

El rápido proceso de urbanización de Brasil en los últimos 50 años produjo varios problemas en todas las etapas del suministro de agua, tratamiento de aguas y de aguas residuales: el suministro adecuado de agua para la población urbana, la distribución de agua y el tratamiento de aguas residuales. El desarrollo urbano en Brasil ha aumentado la frecuencia de las inundaciones, la producción de sedimentos y el deterioro de la calidad del agua. En la medida en la que la urbanización progresa, el impacto aumenta debido al hecho de que la infraestructura urbana no se organiza durante el proceso: los problemas de drenaje urbano, construcción de caminos, puentes y canales, así como la deforestación, no están incluidos en la evaluación de planes urbanos (Tucci, 2006). El significativo impacto en la descarga máxima es una de las importantes consecuencias de la urbanización, al igual que los cambios de cobertura del suelo, el aumento de las inundaciones y el deterioro del medio ambiente en general. Es en este cuadro general que los servicios de abastecimiento de agua se producen en Brasil.

En Brasil las fuentes de agua para el abastecimiento público provienen de aguas superficiales, en la mayoría de los casos localizadas en las regiones periurbanas; o de aguas subterráneas, ubicadas en áreas urbanas o rurales. En general, la demanda urbana para el abastecimiento doméstico es satisfecha desde pequeñas cuencas alrededor del área urbana. Las cuencas pequeñas (<500 km²) en el sureste de Brasil tienen descargas específicas de 15 a 25 litros/seg/km² (Tucci, 2006). Esto es suficiente para el uso doméstico de 200 litros/habitante/día. Sin embargo, a medida

que avanza la urbanización, la calidad de las aguas de superficie y subterráneas se deteriora; por lo tanto, es necesario recurrir a otras fuentes de suministro.

Estas fuentes pueden estar lejos de las estaciones de tratamiento de agua, por lo general localizadas en el centro urbano. Entonces, esto incrementa la necesidad de más energía para bombear el agua desde las fuentes. Existe un problema adicional que incrementa el costo del tratamiento: si la fuente de agua está bien preservada con bosques de galería, humedales o mosaicos de vegetación, el costo del tratamiento para producir agua potable es bajo. La cifra es de alrededor de US\$2 ó US\$3 por 1,000 m³ tratados. Esto es en el caso de que no sea necesario un tratamiento químico. Si la fuente de agua se encuentra contaminada, el tratamiento químico (coagulantes, carbón activado y otros) incrementa el costo a US\$200 ó US\$300 por 1,000 m³ tratados (Tundisi y Matsumura Tundisi, 2010). Éste es el costo del deterioro de la fuente de suministro. Datos estadísticos oficiales informan que en Brasil, 90% de la población recibe agua tratada en su residencia. El 10% restante usa aguas subterráneas, en general de pozos locales ubicados en cada casa o pueblo. En el sur y en zona del sureste, desde los pozos profundos (120-500m) se bombea agua que proviene de la reserva subterránea guaraní, un enorme recurso hídrico (43,000 km³) compartido por Brasil, Paraguay, Uruguay y Argentina. Estas son aguas subterráneas de gran calidad, por lo que el costo del bombeo es compensado por el pequeño costo del tratamiento de agua.

La pérdida en los servicios de abastecimiento de agua en Brasil, es de aproximadamente 30% en las tuberías después del tratamiento. Sin embargo, hay ciudades donde es común la pérdida del 60%. Esto es debido a la antigua infraestructura de las tuberías. En algunos casos estas infraestructuras tienen más de 100 años de edad. También cabe señalar que no existe información sobre la calidad del agua en las tuberías después del tratamiento ni durante el proceso de distribución.

3.3 Amenazas para el abastecimiento de agua (cantidad y calidad)

3.3.1 Usos competitivos del agua

En Brasil el 70% del agua disponible en las cuencas es consumido por actividades agrícolas. En algunas regiones (por ejemplo sureste, sur y centro oeste) los

usos competitivos para la agricultura y la industria amenazan el suministro de agua para uso doméstico.

3.3.2 Degradación De La Calidad Del Agua

La degradación de la calidad de agua es uno de los más grandes problemas de Brasil a principios del siglo XXI. Las principales causas de la degradación del agua son:

- **Deforestación.** La falta de cobertura vegetal es causa de deterioro y pérdida de calidad en aguas superficiales y subterráneas. La deforestación también afecta la recarga de los acuíferos.
- **La falta de tratamiento de aguas residuales.** En Brasil sólo es tratado 47% de las aguas residuales. Esto produce una enorme cantidad de materia orgánica que deteriora la calidad del agua superficial y subterránea.
- **El drenaje superficial.** El drenaje superficial de aguas en la mayoría de los casos está lleno de restos de residuos sólidos (plástico, papel, vidrio y materia orgánica). Esto es otra fuente de deterioro.
- **Transporte de sedimentos.** Debido a la erosión en el suelo del área urbana, una gran cantidad de sedimento suspendido puede ser transportado. Este sedimento suspendido lleva partículas de fósforo y nitrógeno que se agregan a las partículas del suelo erosionado, lo cual provoca impactos en la composición y en las características físicas del agua (temperatura, penetración de la luz y conductividad).
- **Aguas residuales industriales.** El vertido clandestino de aguas residuales industriales puede contaminar fuentes de suministro de aguas superficiales y subterráneas, así como producir nuevos retos y necesidades para el tratamiento del agua.
- **Vertidos de tierras agrícolas.** Los vertidos de aguas residuales procedentes de la agricultura (pesticidas, herbicidas, fertilizantes) son otra importante amenaza para los sistemas de suministro de agua. Esto resulta especialmente complejo porque no existen fuentes puntuales y, por lo tanto, resulta muy difícil de controlar.
- **Contaminantes orgánicos persistentes.** Los contaminantes orgánicos persistentes (COP) tienen varios orígenes pero las principales fuentes son aquellas relacionadas con la población humana como residuos de hormonas, cosméticos, antibióticos y sustancias de otras fuentes. Estos se disuelven en el agua y no son retenidos por la tecnología tradicional de tratamiento de agua.

De hecho necesitan un equipo especial de detección y estudios generales para promover un mayor conocimiento acerca de su impacto en la salud humana (Jorgensen, Tundisi y Matsumura Tundisi, 2012)

- **Contaminación de áreas de recarga de los acuíferos.** En muchas áreas urbanas la recarga de los acuíferos se deteriora debido a la destrucción de la cubierta vegetal (bosques, humedales, bosques de ribera) por carreteras, casas y condominios. Además de esto, la contaminación de las áreas de recarga restantes es otro problema: depósitos de residuos sólidos (depósitos abiertos de residuos sólidos), residuos de la construcción, combustible/tanques.

3.4 Legislación

La resolución 357 del 17 de marzo de 2005 del Consejo Nacional de Medio Ambiente de Brasil (CONAMA) establece la clasificación de aguas dulces, salinas y salobres en Brasil. Esta clasificación se basa fundamentalmente en los usos del agua. La Tabla 2 resume los tipos de uso.

Esta legislación está reforzada por leyes ambientales de Brasil –a nivel federal– que consideran la protección de bosques, de bosques de galería, de corredores de bosque y de humedales, al tiempo que regulan la contaminación de las aguas costeras e interiores (Tucci, 2006).

En cada municipio hay leyes específicas que regulan los usos de suelo, el desarrollo urbano y los procesos de construcción. La integración de la legis-

lación federal, estatal y municipal es uno de los principales retos para controlar los servicios de suministro de agua en Brasil.

3.5 Gestión de las cuencas urbanas

La gestión, el control y la recuperación de las cuencas urbanas es de fundamental importancia para los servicios de distribución de agua. El Plan Maestro del municipio tiene que incorporar el manejo integral de los recursos hídricos urbanos tomando en cuenta las cuencas donde se produce la urbanización. La planificación y la protección de las fuentes de agua, así como la optimización de los servicios, deben controlar e intervenir en los siguientes procesos:

- Evaluación de la calidad de agua de las fuentes, su estado de conservación o de degradación;
- La relación entre disponibilidad y demanda de agua tiene que ser considerada en la planificación;
- La conservación de las fuentes de agua y el análisis de las tendencias futuras de urbanización (ubicación geográfica) con el fin de definir las prioridades para la expansión y, al mismo tiempo, proteger las fuentes de agua (superficiales y subterráneas) (Tucci, 2006);
- El control del uso de la tierra, monitoreo de la contaminación o preservación de la tierra, la vigilancia de la calidad del agua y la permanente medición de la disponibilidad y de la demanda de agua;
- Mejorar o introducir nueva legislación a nivel municipal con el fin de prevenir el exceso de ocupación y uso de suelo, la presencia de fuentes de

Tabla 2. Tipos de uso de los suministros de agua para consumo humano, y la protección de las fuentes de agua y los ecosistemas.

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
Suministro de agua para consumo humano	Suministro de agua para consumo humano (tratamiento convencional)	Suministro de agua para consumo humano (tratamiento avanzado)	Navegación
Suministro de agua para la protección de la vida acuática	Protección de las comunidades acuáticas	Riego de árboles (frutales) o alimento para animales	Paisaje
Suministro de agua para recreación	Recreación con contacto primario	Pesca	Armonía
Riego de la vegetación	Riego de vegetales	Recreación con contacto secundario	
Protección de comunidades acuáticas en tierras indígenas	Acuicultura y pesca	Suministro de riego para animales	

agua, la protección y el desarrollo de bosques urbanos y espacios verdes para mantener un balance adecuado entre áreas urbanas y naturales.

- Movilizar a la población, escuelas e iniciativa privada con el fin de desarrollar un enfoque participativo para una gestión integrada de las cuencas hidrográficas. La educación a todos los niveles es fundamental.
- El fortalecimiento de las capacidades de los gerentes, técnicos y otros participantes de la administración municipal es también extremadamente relevante. La falta de una visión sistemática del municipio y su región urbana, la carencia de conocimiento sobre la protección de los recursos naturales del municipio y de las áreas de expansión son problemas que impiden una gestión eficiente del servicio de suministro de agua en muchas de las regiones urbanas de Brasil.
- Los recursos financieros y estímulos para promover una mejor organización institucional en las regiones urbanas de Brasil son otras iniciativas que ciertamente tendrán un efecto en el manejo de los recursos hídricos. La administración y el mantenimiento de un buen gobierno dependen de la integración de diversos departamentos administrativos como la vivienda, el medio ambiente, la ciencia y los servicios de agua.

3.6 Recomendaciones de política

El deterioro de las fuentes de agua en Brasil es una realidad. Aunque Brasil cuenta con una legislación competente y actualizada, así como con recursos tecnológicos disponibles para resolver esta complejo problema de protección de las fuentes y distribución de agua, éste no ha sido resuelto con la eficiencia necesaria para mejorar la calidad del agua de la fuente y disminuir la vulnerabilidad de las poblaciones (Bicudo *et al.*, 2010). Las poblaciones de las zonas periurbanas de las grandes metrópolis, o incluso de tamaño medio, son las más afectadas y vulnerables. Dado que existe una fuerte relación entre la calidad y la distribución del agua, la salud humana y la economía, es necesario desarrollar una visión estratégica en la evaluación de los principales problemas por resolver (Tundisi *et al.*, 2012).

En la actualidad, las siguientes cuestiones vinculadas con los servicios de abastecimiento de agua son fundamentales en Brasil:

- **Protección de las fuentes superficiales y subterráneas.** La reforestación, los bosques urbanos y parques, así como los bosques de galería en regiones urbanas deben tener prioridades más altas. Debe prohibirse la canalización. La construcción de canales en el entorno urbano disminuye la biodiversidad y genera la pérdida de servicios ecológicos.
- **Mejorar la legislación a nivel urbano.** El pago por servicios ecológicos podría ser introducido como medida complementaria para la protección de las fuentes (Heide *et al.*, 2013).
- **Mejorar el tratamiento de las aguas y la tecnología** con el fin de analizar y remover los contaminantes orgánicos del agua.
- **Mejorar y aumentar la eficacia y la frecuencia del monitoreo en todos los niveles** (de la fuente al grifo). Apropiado uso de los parámetros indicadores.
- Como una prioridad de gran escala el **tratamiento de las aguas residuales** es fundamental para Brasil. La tecnología de tratamiento de aguas residuales debe considerar métodos avanzados y nuevos proyectos tales como el uso de humedales para mejorar el proceso y disminuir los costos del tratamiento. La ecología y las ecotecnologías deben ser aplicadas.
- Otra prioridad es incluir en el Plan Maestro de cada pueblo o ciudad **proyectos para la protección de las fuentes de agua, el control del drenaje urbano, y la regulación del uso de suelo** (Tucci, 2006, 2010). Los recursos hídricos deben formar parte de un plan de gestión integrada para toda la ciudad.
- **Desarrollar un banco de datos estadísticos para la salud humana y la calidad del abastecimiento de agua** con el fin de establecer y consolidar una política integral para las áreas urbanas.
- **La evaluación de la vulnerabilidad de las poblaciones urbanas** expuestas a riesgos de escasez de agua y deterioro de la calidad del agua.
- **La adopción de nuevas tecnologías avanzadas**, tales como los principios de ecología introducidos y discutidos por Zaleswky (2014) para la recuperación y gestión de las fuentes de agua urbana, deberían mejorar considerablemente

la nueva visión de la gestión del agua y de las cuencas hidrográficas en las zonas urbanas de Brasil.

- **Reintroducir, a nivel urbano, el concepto de mosaicos de vegetación** con el fin de mejorar el paisaje, aumentar el potencial de auto-purificación, reducir la erosión del suelo y mejorar la calidad del agua.
- **Infraestructura y tecnología de suministro de agua más eficientes** con la disminución del consumo de agua por habitante.
- Por último, uno de los mayores problemas para un suministro de agua adecuado en Brasil es la implementación y ejecución de ideas, proyectos y planes. Hay suficientes recursos financieros. Hay planes y proyectos. La ejecución no es la adecuada, o falla o es demasiado lenta. Existe una fuerte necesidad de **optimizar las capacidades de los administradores para implementar proyectos y planes** con gran eficiencia y rapidez, con una visión sistemática e integral del futuro.

4. Agua y salud

4.1 Panorama

Junto con los problemas de suministro de agua en sistemas urbanos no planificados, probablemente uno de los mayores retos en la gestión de los recursos hídricos en las grandes regiones metropolitanas de Brasil está relacionado con los efectos de las enfermedades transmitidas por el agua como consecuencia de las bajas tasas de tratamiento de las aguas residuales, y también debido a una legislación y a parámetros de monitoreo de la calidad microbiológica del agua deficientes (Hupffer *et al.*, 2013).

Los métodos utilizados para monitorear la calidad del agua cruda captada y distribuida en Brasil pueden explicar, en parte, que la gastroenteritis aparece como la mayor amenaza relacionada con la contaminación del agua en Brasil. Los brotes de enfermedades vinculados con las clásicas enfermedades transmitidas por el agua, como por ejemplo el cólera (el último gran brote se produjo en 1999 en el norte del país), son esporádicos o localizados en regiones específicas, como la desembocadura del Río Amazonas. Está bien establecido que los indicadores microbiológicos clásicos, a saber los coliformes fecales, tie-

nen una relación cercana con la presencia del *Vibrio cholerae* y del *Salmonella typhi* (Sobsey y Meschke, 2003). Sin embargo, como se mencionó antes, estas enfermedades son poco frecuentes en la realidad actual de Brasil. Por otra parte, la ausencia de coliformes, el principal parámetro de la calidad microbiológica del agua utilizado oficialmente en Brasil, no refleja necesariamente la seguridad del agua potable por la presencia de patógenos resistentes a los sistemas de tratamiento de agua, tales como virus entéricos y protozoos intestinales (Sobsey y Meschke, 2003; Hupffer *et al.*, 2013).

4.2 La carga de gastroenteritis en Brasil

En Brasil, la principal amenaza para la salud humana, entre otras enfermedades transmitidas por el agua, es la gastroenteritis, que se caracteriza por vómitos y diarrea, y es causada por virus, protozoos o bacterias. La gastroenteritis representa más del 80% de las enfermedades relacionadas con un inadecuado saneamiento ambiental en Brasil (IBGE, 2011). Estas enfermedades son una gran carga para el sistema sanitario, ocupan miles de camas de hospital, y afectan más a menudo a los niños.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) afirma que la falta de saneamiento es una seria amenaza para la salud humana. Aunque extendida por el mundo, la falta de saneamiento está todavía muy asociada con la pobreza que afecta principalmente a personas de bajos ingresos, vulnerables a la desnutrición y a menudo con una higiene inapropiada (OMS, 2008). Las enfermedades relacionadas con el agua y las deficiencias en los sistemas de alcantarillado así como con una higiene inadecuada causan la muerte de millones de personas cada año, con prevalencia en los países de bajos ingresos (PIB de menos de US\$825 por persona). De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2008), 88% de las muertes por enfermedades diarreicas en el mundo es causada por un saneamiento inadecuado. De estas muertes, aproximadamente 84% son niños (Kronemberger, 2012). Se estima que más de 2 millones de niños mueren cada año, especialmente en países en desarrollo, debido a la diarrea. No existen estudios acerca del número de casos de enfermedades de transmisión fecal-oral en Brasil, pero en una encuesta realizada por la Fundación Getúlio Vargas, se demostró que durante el año 2011, en las 100 mayores ciudades bra-

sileñas cerca de 54,400 personas fueron ingresadas en hospitales presentando signos clínicos de diarrea (Kronemberger, 2012). De éstas 28,594 fueron niños menores de 5 años de edad. En todo el país, 396,048 personas fueron hospitalizadas por gastroenteritis durante el mismo año (138,447 niños). Al analizar los datos de las 100 ciudades más grandes, este mismo estudio mostró que en las 20 ciudades con mayores índices de tratamiento de aguas residuales, se registraron 14,6 casos por cada 100,000 habitantes frente a un promedio de 363 casos por cada 100,00 habitantes en las 10 ciudades con menores índices de tratamiento de aguas residuales. Eso significa que el promedio de hospitalización en las ciudades con el peor nivel de tratamiento de aguas residuales fue 25 veces mayor (Kronemberger, 2012). Es de destacar que, por lo general, muchos casos no se incluyen en los reportes de los hospitales y muchos otros no son atendidos en el servicio de salud pública, por lo que no están incluidos en las estadísticas.

Los virus son los agentes etiológicos de gastroenteritis más frecuentes en los seres humanos. Hay más de 100 tipos diferentes de virus que se encuentran en los desechos humanos y todos son potencialmente transmitidos a través del agua (Brunkard *et al.*, 2011). Los tipos y las concentraciones de los virus detectados en las aguas residuales o en lugares contaminados por emisiones de aguas residuales no tratadas, muestran el flujo de los virus en la población y reflejan las infecciones virales más prevalentes en la comunidad a nivel de contaminación de agua (Vieira *et al.*, 2012). Se sabe que los virus entéricos como poliovirus, rotavirus, calicivirus, adenovirus y virus de hepatitis A están presentes en el tracto gastrointestinal de las personas infectadas; se eliminan en grandes cantidades a través de las heces (10⁵-10¹¹/g de heces), y son capaces de contaminar el agua directa o indirectamente (Rigotto *et al.*, 2010). Como se mencionó antes, las técnicas aplicadas en la actualidad para medir la seguridad microbiológica de las aguas en Brasil no incluyen la detección de patógenos virales (o protozoos) (Vecchia *et al.*, 2012). La contaminación de los recursos hídricos puede ocurrir debido a la falta de tratamiento de las aguas residuales, de un inadecuado mantenimiento de la red de tuberías, embalses y vertederos, que a su vez pueden contaminar las aguas subterráneas. Otro problema notable es que las tecnologías para monitorear así como el proceso aplicado actualmen-

te para el tratamiento del agua potable en Brasil, no son efectivos para evitar el riesgo de contaminación viral (Hupfer *et al.*, 2013).

El monitoreo de partículas virales es usualmente descuidado por las compañías de agua debido a la dificultad y a la complejidad de los procedimientos involucrados para realizar esta tarea. Sin embargo, una gran variedad de virus responsables de diversas enfermedades como la gastroenteritis aguda y la hepatitis han sido detectados en diferentes matrices de estudios acuáticos en muchos países, incluyendo Brasil (Vieira *et al.*, 2012). La ausencia de análisis de rutina por los servicios de monitoreo virológico y de suministro de agua potable se ha caracterizado como un problema mundial (Vecchia *et al.*, 2012). Varios diferentes reportes han mostrado la presencia de virus y protozoos en aguas superficiales brasileñas. En muchos de estos estudios, es recurrente que los índices encontrados en diferentes regiones son más altos que los encontrados en aguas superficiales del hemisferio norte o incluso en países de América Latina con mayores niveles de saneamiento. Una encuesta realizada en el estado de São Paulo reveló virus entéricos en 85% de las 60 muestras analizadas de agua cruda sin tratar, de las cuales aproximadamente 25% presentó adenovirus (ADV) y enterovirus (EV) (Cetesb, 2011). En un estudio elaborado con RPC convencional en muestras de agua recogidas del Arroio Dilúvio, un arroyo de agua que atraviesa la ciudad de Porto Alegre, Brasil (Vecchia *et al.*, 2012), se detectó la presencia de adenovirus (ADV) en 21.4% de las muestras y de enterovirus (EV) en 64.3%. En un estudio diferente realizado en Florianópolis, Brasil, 84 muestras de agua de diferentes fuentes, recolectadas entre 2007 y 2008, fueron analizadas con métodos moleculares y procedimientos de cultivo celular integrado-RPC. En 64.2% de los casos se detectó el genoma ADV. El estudio expuso que de las muestras virales positivas para ADV, 88.8% eran infecciosas (Rigotto *et al.*, 2010). Una encuesta realizada por Vieira *et al.* (2012), para la cual 144 muestras de agua de la Laguna Rodrigo de Freitas, en Río de Janeiro, Brasil, fueron analizadas mediante ensayos cualitativos y cuantitativos de la reacción en cadena de la polimerasa, el virus ADV fue el menos frecuente (16.7%), mientras que el grupo de rotavirus fue el más frecuente (24.3%), seguido por el de norovirus (18.8%). En otro estudio realizado en Manaus, Brasil, el análisis del agua de

los arroyos naturales por RPC convencional reveló que de 52 muestras recogidas en 13 sitios diferentes, 44.2% contenía el genoma del rotavirus, seguido por el ADV (30.8%), del astrovirus (15.4%) y del norovirus (5.8%) (Miagostovich *et al.*, 2008).

4.3 Recomendaciones

Tomando en cuenta los altos índices de detección de estos agentes virales en matrices de agua, el número de casos de diarrea y la ausencia de relación entre la presencia de coliformes fecales y agentes virales o protozoarios, las directrices brasileñas para la calidad del agua potable deben ser revisadas. Otro objetivo urgente es mejorar los niveles de tratamiento de las aguas residuales en las ciudades brasileñas para minimizar la descarga de aguas residuales contaminadas en los cuerpos de agua usados para la producción de agua potable. Estas estrategias deben ser priorizadas para disminuir la carga de gastroenteritis en Brasil.

5. Conservación y reutilización del agua como herramientas de gestión

5.1 Panorama

Como parte de la Gestión Integrada del Agua Urbana, las acciones de reutilización y conservación del agua deben ser planificadas e implementadas para resguardar a los suministros de agua del deterioro, proteger la salud humana y de los ecosistemas, reducir los costos del tratamiento de agua, y hacer que la demanda de agua y el uso de los sistemas urbanos sea lo más sostenible posible.

La reutilización del agua es una solución urgente que hace frente a los problemas de la limitada disponibilidad de fuentes de agua y de la contaminación en las regiones metropolitanas.

5.2 Disponibilidad y reutilización del agua

Después de la Conferencia Internacional de la ONU sobre Agua y Medio Ambiente en 1992, celebrada en Dublín, Escocia (CIAMA, 1992), el agua comenzó a ser vista como un bien económico que debía utilizarse con moderación. En Brasil, la Política Nacional de Recursos Hídricos (Ley No. 9433, enero de 1997)

fue instituida y estableció el “cobro por el uso de los recursos hídricos sujetos a licencias”. Esta ley también estableció la estructura legal y administrativa del Sistema Nacional de Recursos Hídricos (Ley No. 9984, julio de 2000) y creó la Agencia Nacional de Aguas, además de una resolución que estableció criterios generales para la concesión de derechos de uso de los recursos hídricos (Resolución CONAMA No. 16, mayo de 2001).

El cobro por el uso del agua es una herramienta extremadamente beneficiosa tanto para la conservación del agua, ya que induce la gestión de la demanda, como para la protección del medio ambiente, pues promueve la reducción de las descargas de efluentes en cuerpos de agua. Sin embargo, debido a la tendencia de la población y al crecimiento industrial, sobre todo en las grandes aglomeraciones urbanas, la disponibilidad del agua tiende a disminuir con el tiempo, mientras que los recursos hídricos se mantienen constantes en términos de flujo, pero no en términos de calidad (Hespanhol, 2008).

La Región Metropolitana de São Paulo (RMSP) es un ejemplo del problema de disponibilidad de agua. Esta región es suministrada por aproximadamente 74 m³/s de agua de superficie y 10 m³/s de fuentes subterráneas, dando un total de 84 m³/s. Desde que la RMSP se encuentra en la cabecera de la cuenca del Alto Tietê, la disponibilidad local de agua no es suficiente para abastecer de agua a los 20 millones de habitantes y a una de las zonas industriales más grandes del mundo. Por lo tanto, se importa agua de otras cuencas, como la cuenca hidrográfica Piracicaba-Capivari-Jundiaí, que contribuye con una inversión de 33 m³/s para las aguas de la RMSP. La aducción de 84 m³/s genera un flujo de aproximadamente 67 m³/s. Dado que la capacidad instalada en las plantas de tratamiento de aguas residuales de la RMSP es de 16 m³/s, los restantes 51 m³/s de aguas crudas residuales se vierten, sin tratar, en los cuerpos receptores de agua de la región, contaminándolos cada vez más.

La sustentabilidad de los sistemas de abastecimiento de agua debe considerarse de acuerdo con las probabilidades del que el sistema de suministro de agua tenga la capacidad de satisfacer la demanda de forma permanente y en condiciones satisfactorias. Las variables más importantes para determinar (o no) una condición de sustentabilidad son: (i) la solidez, reflejada en un constante rendimiento y la habilidad de satisfacer una demanda creciente, incluso bajo di-

versos tipos de estrés; (ii) la resiliencia, es decir, la habilidad del sistema para recuperar su estado apropiado después de impactos negativos como la pérdida de capacidad de servicio de las fuentes de abastecimiento, y (iii) la vulnerabilidad, o sea, la importancia de la falla de un sistema de suministro (Hashimoto *et al.*, 1982).

El sistema que suministra a la RMSP es, por tanto, insostenible cuando consideramos que no es robusto y también debido al hecho de que presenta una resiliencia prácticamente nula, porque sigue dependiendo de los recursos de cuencas que se encuentran sujetas a condiciones extremas de estrés hídrico. La transferencia sistemática de grandes volúmenes de agua de fuentes distantes, que genera volúmenes adicionales de aguas residuales no tratadas, ya no puede ser aceptada, tanto desde el punto de vista económico como ambiental. Y esto tenderá a ser cada vez más restrictivo debido a la conciencia popular, a la reglamentación de las asociaciones profesionales y también al desarrollo institucional de los comités de las cuencas que son afectadas por la pérdida de sus recursos hídricos. Los costos asociados a los nuevos sistemas de suministro, tienden a ser mucho mayores que los costos de los sistemas existentes debido a que las fuentes de agua cercanas menos contaminadas ya han sido explotadas previamente. Un estudio realizado por el Banco Mundial, que analiza los recursos invertidos en proyectos de abastecimiento de agua internacional, mostró que el costo por metro cúbico de agua potable de un sistema de distribución de agua nuevo puede equivaler a dos o tres veces el costo del sistema actual (Banco Mundial, 1992). Esto sería de gran importancia desde el punto de vista humanístico, al eliminar la descarga de aguas negras en los cuerpos de agua de las metrópolis. Estos cuerpos de agua deben volver a los servicios, integrando a la población en los parques y jardines; estableciendo las condiciones para el ocio y el desarrollo de deportes acuáticos.

Las soluciones modernas y sustentables que mejorarán significativamente la robustez y resiliencia del sistema de abastecimiento de agua en la RMSP, consisten en gestionar la demanda así como en tratar y reutilizar el agua, disponible en forma de aguas residuales en el área de la RMSP, para complementar el suministro público. La gestión de la demanda consiste en el control de las pérdidas, especialmente de los sistemas públicos de distribución de agua; en la

sensibilización de los usuarios a través de programas de educación ambiental, y en la implementación de programas de subsidios en las tarifas. La gestión del suministro está vinculado con la búsqueda de fuentes alternativas de abastecimiento, incluyendo el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, el uso de agua de lluvia recolectada y subterránea, que complementan la gestión de la recarga de los acuíferos. Las ventajas relacionadas con el uso de agua tratada para usos beneficiosos, en oposición a la eliminación o descarga, incluyen la preservación de fuentes de agua de alta calidad, la protección del medio ambiente así como beneficios económicos y sociales (Asano, 2007).

La reutilización del agua no es aplicable exclusivamente a zonas áridas y semi-áridas o con difícil acceso al agua, sino también a áreas con abundantes recursos hídricos que, sin embargo, resultan insuficientes para satisfacer sus altas demandas específicas, como es el caso de la Región Metropolitana de São Paulo.

Al prevenir en una etapa temprana la necesidad de modificar políticas ortodoxas de la gestión del agua, especialmente en zonas desfavorecidas, el Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas propuso en 1958 que “a menos de que exista una gran disponibilidad, ninguna agua de buena calidad debe ser usada para propósitos que toleren agua de menor calidad” (Naciones Unidas, 1958). Las aguas de menor calidad, como las aguas residuales de origen doméstico, aguas de drenaje agrícola y salobres deben ser consideradas, cuando sea posible, como fuentes alternativas para usos menos restrictivos. El uso de tecnologías apropiadas para el desarrollo de estos recursos es hoy, al igual que la mejora de la eficiencia en el uso y la gestión de la demanda, la estrategia básica para la solución el problema universal de la escasez de agua.

El potencial de reutilización depende de factores locales (decisiones políticas, acuerdos institucionales y disponibilidad técnica), así como de factores económicos, sociales y culturales. Los principios básicos que guían las prácticas de reutilización son: la preservación de la salud de grupos que están en situación de riesgo, la conservación del medio ambiente, el cumplimiento consistente de los requisitos de calidad relacionados con el uso previsto, y la protección de materiales y equipo empleados en los sistemas de reutilización de agua.

La reutilización puede planearse para fines urbanos potables y no potables, riego agrícola, fertilización de lagos en prácticas de acuicultura, industria, gestión de recarga de acuíferos, restauración del caudal de los ríos y recreación.

El agua reutilizada para fines no potables, o servicios hídricos, ya está siendo empleada en la RMSF y en diversas regiones metropolitanas de Brasil. Los efluentes de aguas residuales que han pasado por sistemas de tratamiento biológico reciben posteriores tratamientos físico-químicos y son distribuidos en áreas restringidas con acceso controlado o no controlado, atendiendo especialmente a evitar el contacto directo con el público (USEPA, 2004; Hespanhol, 1997). Los usos posibles para el agua de reutilización son: riego de parques y jardines públicos, residenciales e industriales, centros deportivos, campos de fútbol y golf, áreas verdes industriales, escuelas y universidades, césped, árboles y arbustos decorativos de avenidas y carreteras; reservas en caso de incendio; sistemas acuáticos decorativos como fuentes y pequeños lagos artificiales poco profundos; lavado de vehículos como coches, camiones, autobuses y trenes; limpieza de pisos, cocheras y parques; cisternas de excusados en baños públicos y edificios residenciales y comerciales; lavado de tuberías de alcantarillado y de agua de lluvia; control del polvo; construcción, en los agregados de lavado, para la preparación y curado del concreto, y para el control de humedad en la compactación del suelo.

La reutilización de agua para suministro de agua potable en áreas urbanas puede ser el resultado directo o indirecto de los sistemas de reutilización. En los sistemas de uso indirecto la captación de agua se produce a partir de lagos o caudales de ríos que re-

ciben aguas residuales tratadas y no tratadas (Figura 4). Este sistema es practicado ampliamente en Brasil, por ejemplo, a lo largo de los ríos Tietê y Paraíba do Sul, y requiere una gestión eficiente de las agencias ambientales con el fin de evitar impactos adversos en la salud humana y el medio ambiente.

De modo ideal, este sistema de reutilización potable indirecta debe ser planificado cuidadosamente con una unidad secundaria de tratamiento de aguas residuales, en general con lodos activados y, de forma más moderna, con unidades de biomembranas sumergidas (IMBRs), seguido de sistemas avanzados de tratamiento y, si es necesario, seguido también de un balance químico antes de que el agua tratada sea descargada de nuevo en cuerpos receptores de agua superficiales y subterráneos, denominados “atenuadores ambientales” (Figura 5). El propósito de los atenuadores ambientales es atenuar, por medio de la dilución, sedimentación, adsorción e intercambio iónico, entre otros procesos, las bajas concentraciones de contaminantes que permanecen aún después de los sistemas avanzados de tratamiento usados anteriormente.

El sistema de reutilización potable indirecta planificado sería difícil de implementar en Brasil en la actualidad, debido a que las masas de agua superficial que pueden actuar como atenuadores ambientales están, en su mayoría, contaminados y por lo tanto no podrían operar como limpiadores secundarios. La recarga gestionada de acuíferos confinados, como atenuadores ambientales, es rechazada por los legisladores ambientales.

Otro sistema sería la reutilización potable directa, que consiste en el tratamiento avanzado de aguas residuales y su incorporación directa en una

Figura 4. Escenario típico de los sistemas de reutilización indirecta no planificados que se producen en serie.

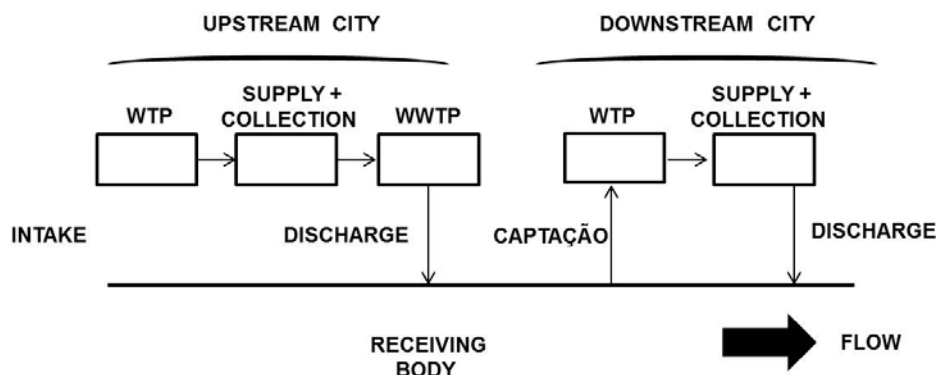
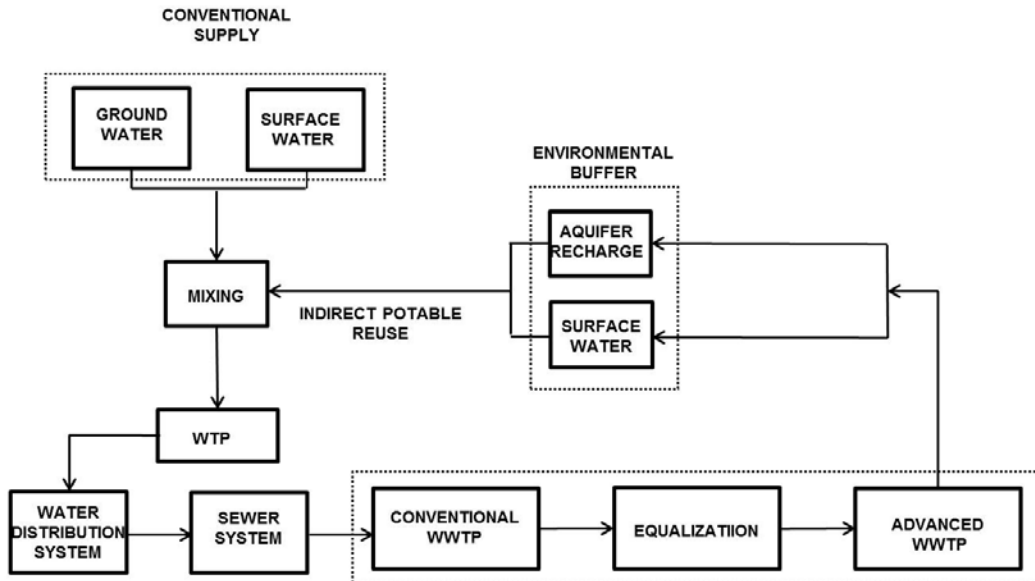
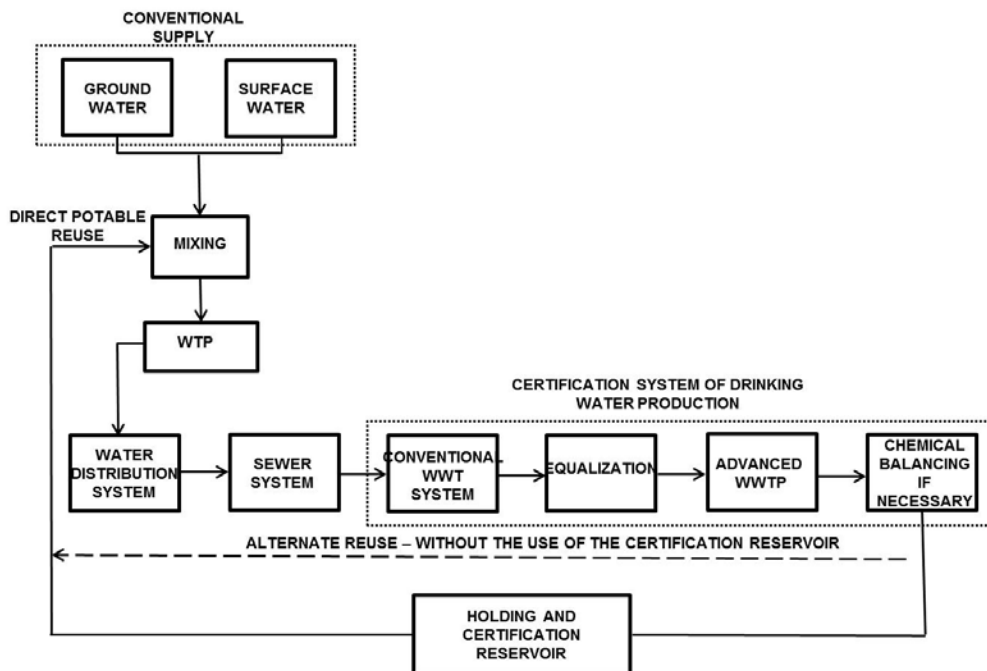


Figura 5. Diagrama básico de un sistema de reutilización indirecta planificado



Fuente: adaptado de Tchobanoglous *et al.*, 2011

Figura 6. Reutilización potable directa



Fuente: adaptado de Tchobanoglous *et al.*, 2011

Planta de Tratamiento de Aguas (PTA) que distribuye el agua en el sistema público, o en un tanque de mezcla de aguas de río arriba de la PTA, en la cual los flujos adicionales de aguas superficiales y subterráneas constituyen el flujo total a tratar en el sistema

de reutilización. En este sistema, el agua no pasa por los atenuadores ambientales (Figura 6).

Además del sistema de tratamiento avanzado y de un depósito de balance químico, el sistema contiene un depósito de retención y certificación, cuyos

objetivos son regular la variabilidad entre la producción y la demanda de agua; compensar la variabilidad de la calidad entre el agua producida (prácticamente innecesario con los sistemas avanzados de tratamiento) y, proporcionar un tiempo de retención suficiente para detectar y actuar sobre las posibles deficiencias en el proceso, antes de la liberación del agua tratada en el sistema de distribución.

En la situación actual, nos encontramos ante el reto de sustituir los mecanismos ortodoxos de la gestión del agua, con el fin de abordar la sustentabilidad del suministro de agua en el sector urbano. Esto debe ser hecho a través de la práctica universal de reutilización del agua, más específicamente a través de la práctica de la reutilización potable directa empleando las redes existentes de distribución de agua y sus expansiones. Muchos países con estrés hídrico localizado han estado utilizando esta práctica: Namibia, Australia, Sudáfrica, Bélgica, Singapur y Estados Unidos.

Entre los factores que contribuyen a cambiar los dogmas respecto a la gestión del agua en Brasil están la contaminación de los posibles cuerpos receptores superficiales, lo cual evita su función como atenuadores ambientales; la escasez, la distancia y la contaminación de posibles fuentes de suministro de agua, y la falta de conocimiento técnico sobre la gestión práctica de la recarga de acuíferos. Los sistemas de distribución de agua y sus extensiones se pueden utilizar y no hay necesidad de construir nuevos sistemas, ya que existen tecnologías avanzadas que remueven restos de contaminantes orgánicos e inorgánicos así como organismos patógenos que no son removidos por los sistemas tradicionales de tratamiento de agua. Una evaluación realizada en los Estados Unidos (Tchobanoglous *et al.*, 2011) concluyó que el costo total de un sistema paralelo de distribución de agua potable, tratada en un nivel avanzado oscilaría entre R\$ 0.7/m³ y R\$ 4.00/m³ (entre US\$ 0.32/m³ y US\$ 1.70/m³), mientras que un típico sistema avanzado de tratamiento, incluyendo sistemas de membranas y procesos avanzados de oxidación oscilaría entre R\$ 1.3/m³ y R\$ 2.2/m³ (entre US\$ 0.57/m³ y US\$ 0.97/m³). Las inversiones realizadas en la aplicación de un tratamiento avanzado, superan las inversiones para la construcción de una red paralela de distribución de agua con tratamientos convencionales. En el caso de la RMSP habría que evitar los costos de construcción y mantenimiento de tuberías para

agua cruda procedentes de otras cuencas, además de no poner el peligro el suministro de agua en las cuencas bajo estrés hídrico, como la cuenca del PCJ.

Entre los factores que retrasan e inhiben la práctica de la reutilización se encuentra la inadecuada regulación de las normas restrictivas que no representan las condiciones brasileñas actuales y no protegen al medio ambiente ni a la salud pública de los grupos de riesgo. También hay una percepción negativa con respecto a la utilización de agua reciclada, así como falta de confianza hacia las propuestas gubernamentales.

5.3 Recomendaciones

A pesar de que Brasil tiene un significativo porcentaje de los recursos hídricos del mundo, muchas regiones se encuentran frente a recursos de agua menores a los 200 metros cúbicos por habitante por año, lo cual genera condiciones críticas de abastecimiento y conflictos en los usos del agua. En casos como la RMSP, donde el agua ha sido importada desde otras cuencas hidrográficas, es necesario **observar si las regiones consideradas aptas para ser sometidas a prácticas de inversión** poseen recursos de agua compatibles con sus necesidades, y si los volúmenes adicionales de aguas residuales que se generan son adecuadamente tratados y eliminados.

Es necesario **adoptar un nuevo paradigma de gestión** basado en las palabras clave conservación y reutilización del agua. Las industrias del estado de São Paulo ya están invirtiendo recursos financieros en la implementación de programas de conservación y reutilización del agua, reduciendo su consumo entre 40 y 80%. La agricultura, que representa aproximadamente el 70% del consumo de agua en Brasil, ha estado evaluando los beneficios de la reutilización, que proporciona nutrientes y micronutrientes para los cultivos, lo cual elimina la necesidad del uso de fertilizantes sintéticos. La reutilización del agua para acuicultura, la recarga gestionada de acuíferos y recreación, todavía no existe en Brasil.

Los sistemas de reutilización potable indirecta no son muy viables en Brasil, debido a que los mantos subterráneos y los cuerpos de agua superficiales no poseen las condiciones técnicas adecuadas, o están altamente contaminados, así que no pueden ser empleados como atenuadores ambientales. Es inexorable que, en el plazo máximo de una dé-

cada, la práctica de reutilización potable directa, que emplea tecnologías modernas de tratamiento y sistemas avanzados de gestión de riesgos y control operativo serán, a pesar de las reacciones psicológicas, legales e institucionales que la limitan, la alternativa más plausible para proveer realmente agua potable. Además de resolver el problema de la calidad, la reutilización potable directa se asociaría fuertemente con la seguridad del suministro, ya que sería posible emplear fuentes de suministro dentro de los lugares de consumo, lo cual elimina, por ejemplo, la necesidad de una larga y costosa construcción de tuberías, que usualmente transfieren agua a los centros urbanos desde áreas afectadas por estrés hídrico.

Con el fin de universalizar la práctica de reutilización en Brasil es necesario: (i) **desarrollar un marco jurídico realista** que regule, guíe y promueva la práctica de la reutilización del agua, incluyendo normas, estándares de calidad del agua, códigos de práctica y responsabilidades institucionales para los diferentes medios de reutilización, especialmente para usos urbano y agrícola; (ii) **fomentar la reutilización del agua** a través de la sensibilización ante los valores y beneficios de esta práctica, la creación de programas de investigación y desarrollo, la implementación de programas y proyectos de demostración, la introducción de líneas específicas de crédito, y el establecimiento de criterios específicos para financiar proyectos de reutilización. La iniciativa para estas acciones puede venir de la Agencia Nacional de Aguas (ANA), el Departamento de Recursos Hídricos del Ministerio de Medio Ambiente, los departamentos estatales de recursos hídricos, los comités de cuencas y las compañías sanitarias locales y estatales.

Las **empresas de saneamiento deben desarrollar estudios y encuestas, en conjunto con centros de investigación certificados** para: (i) evaluar técnica y económicamente operaciones y procesos individuales, así como los sistemas avanzados de tratamiento para la reutilización potable directa dentro de las condiciones brasileñas; (ii) estudiar la dimensión y establecer criterios de operación para los depósitos y los certificados de calidad del agua reutilizada; (iii) evaluar las posibilidades y las consecuencias técnicas y económicas del uso de las redes existentes y sus extensiones, para la distribución de agua de reutilización potable; (iv) desarrollar programas de educación y sensibilización para promover la aceptación pública de la práctica de reutilización potable direc-

ta. Argumentos relevantes se refieren a la seguridad del suministro y a la provisión de agua potable para los consumidores de los sistemas públicos de abastecimiento de agua, y (v) superar los procedimientos auto-protectoristas e inmediatistas de los organismos reguladores, que deben ser guiados hacia el desarrollo de normas realistas, estándares y códigos de prácticas basados en estudios e investigaciones y no a través de la copia de normas y directrices que no representan nuestras condiciones técnicas, culturales, medio ambientales y de salud pública.

6. Las ciudades en zonas áridas y cómo se organiza el suministro de agua

Las zonas secas de Brasil presentan características particulares de precipitación, deterioro de aguas superficiales y subterráneas, y gran distancia en relación con otras cuencas, por lo que acciones específicas de gestión del agua urbana deben ser implementadas con respecto al abastecimiento y distribución adecuada de agua para la población semi-árida.

6.1 Caracterización del semi-árido brasileño

La zona más seca en Brasil, clasificada como semi-árida, se extiende a través de 8 estados del noroeste (Alagoas, Bahía, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Río Grande do Norte y Sergipe), además del norte de Minas Gerais, dando un total de 980,133.079 km² de superficie total. Proporcionalmente al área de los estados, 93.0% del territorio de Río Grande del Norte, 87.6% de Pernambuco, 86.7% de Ceará, 86.2% de Paraíba, 69.3% de Bahía, 59.4% de Piauí, 50.7% de Sergipe, 45.3% de Alagoas y 17.5% de Minas Gerais está incluido en la región semi-árida.

El término semi-árido suele describir genéricamente al clima y las regiones donde la precipitación media anual es de entre 250 y 500 mm, y donde la vegetación está compuesta principalmente por arbustos que pierden sus hojas durante los meses más secos o por pastos que se secan durante las estaciones secas. Los biomas típicos de las regiones semi-áridas son estepas como aquellas en Kazajistán, los outbacks australianos y la caatinga, típica del noreste brasileño.

La variación interanual de precipitaciones en el noreste es muy grande y depende principalmente de dos fenómenos del sistema océano-atmosférico, El Niño/Oscilación del sur (o anti-El Niño/Oscilación del Sur) y el dipolo Atlántico. El Niño es el calentamiento del agua de mar en el Pacífico tropical, desde la costa Perú/Ecuador hasta el oeste del Pacífico. La Niña es lo contrario, es decir, el enfriamiento del agua del mar en el Pacífico tropical desde la costa de América del Sur hacia el oeste del Pacífico. El fenómeno de El Niño ha sido identificado como responsable de las más graves sequías de la región.

6.2 Distribución demográfica

Los resultados del censo de población realizado por el IBGE (Instituto Brasileño de Geografía y Estadística) indican que la población que habita el semi-árido brasileño alcanza un total de 22,598,318 habitantes en 2010, representando 11.85% de la población brasileña y 42.57% de la población residente en el noreste.

Los cinco municipios más densamente poblados del semi-árido son Feira de Santana – BA (556 642 habitantes), Campina Grande – PB (385 213 habitantes), Caucaia – CE (325 441 habitantes), Caruaru – PE (314 912 habitantes) y Vitória da Conquista – BA (306 866 habitantes). De acuerdo al análisis del INSA (Instituto Nacional del Semi-Árido), de los 1,135 municipios que componen el semi-árido, la gran mayoría (93.4%) son considerados pequeños, 5.0% medianos y 1.6% grandes, como puede deducirse de la Tabla 3. De la población total del semi-árido, 65.2% reside en municipios pequeños, 16.5% en medianos y 18.3% en grandes municipios.

6.3 Suministro de agua

En 2006, la ANA (Agencia Nacional del Agua) concluyó el Atlas de Suministro de Aguas Urbanas del Nordeste. El estudio realizó un diagnóstico del suministro de agua, consistente en un análisis de las cuencas hidrográficas y de los sistemas producción de agua de 1256 municipios de la región semi-árida brasileña. De un total de 1256 municipios, 737 (58.7%) son abastecidos por Sistemas Aislados y 519 (41.3%) por Sistemas Integrales (un único sistema que atiende a más de un municipio).

En el área de estudio del Atlas, la calidad de las aguas de superficie y subterráneas se muestra comprometida en la mayoría de las cuencas hidrográficas, debido a actividades humanas vinculadas con una inadecuada disposición de los residuos sólidos, un indiscriminado uso de insumos agrícolas, la deficiencia o ausencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales, y el transporte de cargas inorgánicas procedentes de la minería, del procesamiento de minerales, de la deforestación y del manejo inadecuado del suelo, lo cual da como resultado erosión y sedimentación de los ríos.

El estudio de la ANA tomó en cuenta tres diferentes plazos de tiempo con el fin de cuantificar la demanda de agua – corto (para el 2005), medio (para el 2015) y largo (para el 2025), considerando dos escenarios distintos: PLANA's (1) Un escenario de tendencias, en el que se proyecta el uso de los recursos hídricos de acuerdo a antecedentes históricos, y (2) Un escenario optimista, en caso de que se cumplan los objetivos relacionados con la reducción de las pérdidas de los sistemas de abastecimiento de agua; la

Tabla 3. Clasificación de los municipios en la región semi-árida de Brasil de acuerdo al tamaño de población residente.

Población	Número de ciudades	Clasificación	Suma de la población de todas las ciudades en el grupo
Up to 5.000	190	Pequeña	697.046
5.001 to 10.000	264	Pequeña	1.882.695
10.001 to 20.000	373	Pequeña	5.323.977
20.001 to 50.000	233	Pequeña	6.836.496
50.001 to 100.000	57	Mediana	3.723.683
100.001 to 500.000	17	Grande	3.577.779
500.001 to 900.000	1	Grande	556.642
Total	1135		22.598.318

Fuente: INSA, 2014; clasificación propuesta por el Ministerio de Desarrollo Social y Lucha contra el Hambre, 2004

gestión de la demanda derivada de los polos de desarrollo, y el aumento de la superficie de irrigación con demandas individuales menores.

El estudio realizado por la ANA concluyó que 72% de los municipios localizados en el área de estudio mostró una tendencia de crecimiento de población hasta el año 2025 (24.3% con un crecimiento fuerte y 51.2% con un crecimiento moderado), mientras que 22.9% tendrá posibilidades de sufrir pérdida de población (3.2% con pérdidas significativas y 17.2% con pérdidas moderadas). En 4.9% de los municipios se identificó una tendencia hacia el estancamiento.

Suponiendo un escenario optimista para el 2025, el Atlas concluye que:

- El total de demanda de agua de las ciudades estudiadas es de 734 m³/s.
- La demanda de agua para riego representa el 58% del total (427 m³/s).
- La demanda para abastecimiento de agua corresponde al 27% (198 m³/s).
- El suministro de agua para la industria requerirá de 73 m³/s, 10% de la demanda total estimada;
- La demanda de agua para el ganado corresponderá aproximadamente a 5% del total (36 m³/s).

De la demanda de suministro de agua esperada en 2025, se necesitarán 185.4 m³/s para abastecer las zonas urbanas (93.5%) y 12.9 m³/s para proveer a la población rural (6.5%).

6.4 Identificación del problema

Con el fin de identificar las dificultades en el abastecimiento, las sedes municipales fueron clasificadas por la ANA de la siguiente manera:

- Suministro satisfactorio – los recursos hídricos y el sistema de producción son suficientes para satisfacer la demanda dentro de las perspectivas de planificación.
- Situación crítica por el sistema – la capacidad del sistema de producción de agua no es suficiente para enfrentarse con la demanda señalada en las perspectivas de planificación.
- Situación crítica por los recursos hídricos – la disponibilidad de agua de los recursos hídricos no es suficiente para enfrentarse con la demanda señalada en las perspectivas de planificación.

- Situación crítica por los recursos hídricos y por el sistema – tanto los recursos hídricos como el sistema de producción muestran deficiencias con respecto al equilibrio entre la oferta y la demanda señalado en las perspectivas de planificación.

Para el escenario optimista y las perspectivas hacia el 2025, el Atlas concluyó que, de 1256 municipios analizados, 26.8% será debidamente atendido por los sistemas de abastecimiento, lo cual corresponde a una población de 8.4 millones de habitantes; 2.7% será atendido con un déficit en los recursos hídricos; 52.8% será atendido a través de sistemas de producción de agua en estado crítico, y 17.7% será atendido tanto con un déficit en los recursos hídricos como a través de sistemas de producción de agua en estado crítico.

Estos datos indican que si no se implementan las soluciones adecuadas, incluso considerando acciones para reducir la demanda de agua urbana, 41 millones de personas en la región seguirán sin la garantía de un suministro de agua para consumo humano.

La Figura 7 clasifica las ciudades estudiadas de acuerdo al nivel de criticidad de la oferta, para el escenario descrito.

6.5 Transferencia de agua entre cuencas

En lo que respecta al suministro de agua de la gente en ciudades semi-áridas que no cuentan con recursos hídricos cercanos, la construcción de tuberías es la solución más apropiada, ya sea desde grandes embalses, o desde pozos de áreas sedimentarias (con grandes restricciones para que el potencial de estas reservas pueda ser identificado, particularmente en relación con sus mecanismos de recarga), o desde reservas y ríos más distantes, incluso localizados en otras cuencas, creando así las llamadas transposiciones de agua entre cuencas.

Grandes proyectos para la transportación del agua ya han sido completados, o están en construcción, o han sido diseñados durante los últimos años, con el fin de abastecer de agua a las regiones del semi-árido e igualmente ofrecer apoyo a las actividades productivas. Este es el caso, por ejemplo, del Canal de Integración de Ceará, destinado a transportar agua desde el embalse de Castanhão – el más grande

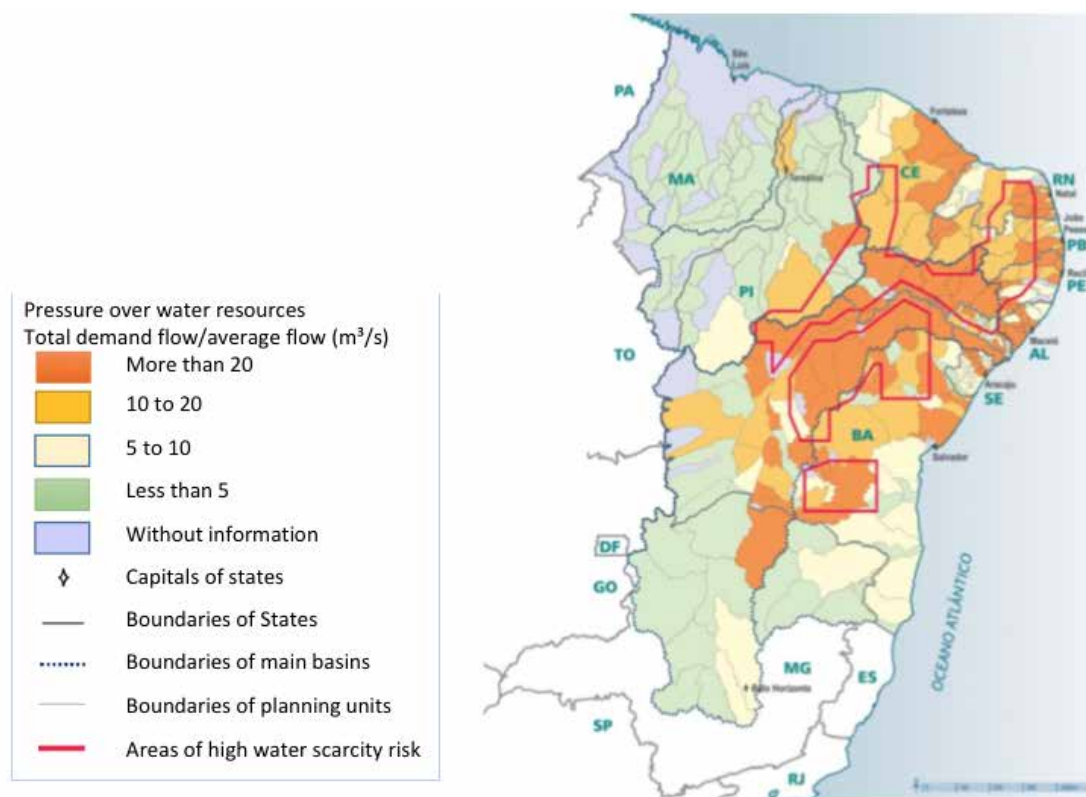
del noreste localizado fuera de la cuenca del Río San Francisco (con una capacidad de 6.7 mil millones de m^3), a lo largo del camino rumbo a la región de Fortaleza, capital del estado, en una extensión de más de 225 km. Otro ejemplo es la red de 500 km de tubería en el estado de Rio Grande do Norte. En ambos casos se ve reflejada la explotación de las reservas de agua en el territorio de cada estado. La principal estrategia en curso para incrementar la infraestructura de agua en la región semi-árida está vinculada con los proyectos de transferencia de agua del Río San Francisco hacia los estados de Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba y Pernambuco, a través de dos largos canales llamados ejes Norte y Este.

De acuerdo con el Ministerio de Integración Nacional, para cuando termine el proyecto habrá un retiro continuo de 26.4 m^3/s de agua, equivalente a 1.4% del caudal total de agua de 1850 m^3/s asegurado por el Sobradinho, en Bahía, en el tramo del río don-

de el agua será capturada. Este flujo se destina para el consumo de la población urbana de 390 municipios en el Agreste y en la zona de influencia de los cuatro estados del noreste. En los años en los que el embalse del Sobradinho sobrepasa su capacidad de acumulación, el volumen recogido podría aumentar hasta un promedio de 114 m^3/s , lo cual contribuye a garantizar el abastecimiento de agua para múltiples propósitos.

Al cruzar el estado de Pernambuco, los ejes Norte y Este, servirán como recurso hídrico para los sistemas de tubería existentes o propuestos, actualmente responsables del suministro de agua a la zona de influencia y el Agreste. Para el Agreste en Pernambuco, considerado una de las regiones semi-áridas más habitadas del planeta, 1300 km de tuberías están siendo implementados, destinados a complementar el suministro de agua, usando el Río San Francisco para proveer de agua a 68 ciudades y 80 localidades.

Figura 7. Presión sobre los recursos hídricos de acuerdo con un escenario optimista para 2025



7. Conclusiones

El rápido grado de urbanización en Brasil ha traído numerosos problemas ambientales como una creciente demanda de suministro de agua, energía, comida y transporte. Los ecosistemas urbanos producen una considerable cantidad de residuos sólidos y líquidos que impactan el ambiente natural río abajo en las ciudades. El ecosistema urbano es un sistema dinámico y complejo, y como tal debe ser considerado para una Gestión Integrada de Aguas Urbanas de estos ecosistemas. Los componentes de esta GIAU incluyen legislación, planificación urbana, uso de suelo, drenaje urbano, calidad de vida y conservación del medio ambiente (Tucci, este documento).

Los servicios de abastecimiento de agua presentan numerosos problemas en áreas urbanas. A pesar de que el 90% de la población recibe agua en sus casas, el tratamiento de aguas residuales es sólo del 45% del total de las aguas residuales producidas. Esto perjudica los usos del agua río abajo en las ciudades, produce muchos problemas de salud pública y la diseminación de enfermedades transmitidas a través del agua. Otro problema común en Brasil es la pérdida de un promedio del 30% de las aguas tratadas en las redes de distribución (Tundisi, este documento). La degradación de la calidad del agua urbana en Brasil depende de la deforestación, la descarga de aguas residuales industriales, los vertidos agrícolas y el transporte de sedimentos ocasionado por la erosión del suelo en áreas urbanas, así como la falta de tratamiento de aguas residuales.

La calidad del agua en las fuentes de suministro también varía: si la fuente está bien protegida por bosques, entonces la calidad del agua es buena y el costo del tratamiento es menor a US\$ 5.00 por 1.000 m³ de agua. Si hay degradación de la fuente, el costo del tratamiento del agua puede ser tan alto como US\$ 250.00 por 1.000 m³ de agua (Tundisi, este documento).

En Brasil, entre las enfermedades transmitidas a través del agua la principal amenaza para la salud humana es la gastroenteritis causada por virus, protozoos y bacterias. Esta enfermedad representa más del 80% de las enfermedades relacionadas con la falta de saneamiento, y es un gran peso para el

sistema de salud (Spilk, este documento). Las técnicas actuales aplicadas para la medición de la seguridad microbiológica del agua en Brasil no incluyen la detección de agentes virales o protozoarios. El proceso aplicado para el tratamiento de agua en Brasil no es efectivo para evitar el riesgo de contaminación viral.

La zona más seca de Brasil, llamada por los especialistas la región semi-árida (precipitaciones entre 250 y 500 mm por año) tiene una población aproximada de 22.600.000 habitantes, distribuidos en 1135 municipios con una mayoría de ciudades pequeñas (entre 5.000 y 50.000 habitantes) (Cirilo, este documento). En un estudio llevado a cabo por la ANA (Agencia Nacional de Aguas de Brasil), se demostró que la calidad de las aguas superficiales y subterráneas se veía afectada por la disposición de los residuos sólidos, el uso de fertilizantes agrícolas, la ausencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales y la deforestación, con la erosión y la sedimentación de los ríos como consecuencias. La construcción de ductos para el transporte de agua entre cuencas es una de las soluciones adecuadas para el suministro de agua de los municipios del área semi-árida. Otra solución es mejorar e invertir fuertemente en la gestión del agua en los municipios (Cirilo, este documento).

Por último, una cuestión fundamental para el sistema de gestión de aguas urbanas en Brasil es la tecnología de reutilización del agua. Hoy en día la disponibilidad del suministro de agua para la población urbana en Brasil se aproxima a un nivel crítico, debido a los grandes cambios en las precipitaciones de los últimos dos años (veranos de 2012/2013 y 2013/2014). Se produjo una reducción general del 30%, lo cual incrementó la vulnerabilidad de las poblaciones urbanas; una posible solución es la reutilización de aguas residuales tratadas que sólo en la región de São Paulo podrían traer 56 m³/s más para ser usados en otras actividades. El tratamiento de agua para su reutilización sería un componente formal de la gestión de los recursos hídricos. La calidad del agua para reutilización debe tener evaluaciones de monitoreo permanentes, estándares estableci-

dos para diferentes usos, y una evaluación de los beneficios de la reutilización en regiones urbanas y metropolitanas (Hespanhol, este documento).

El concepto de ciudades verdes presentado por Tundisi (este documento) debe ser incluido en todos los programas de gestión integrada del agua en re-

giones urbanas. Los bosques son un componente vital y dinámico en el ciclo del agua y la implementación de parques municipales, estaciones ecológicas y otras áreas boscosas en medio del entorno urbano es un paso adelante hacia la conservación del agua y la calidad de vida en el ecosistema urbano.

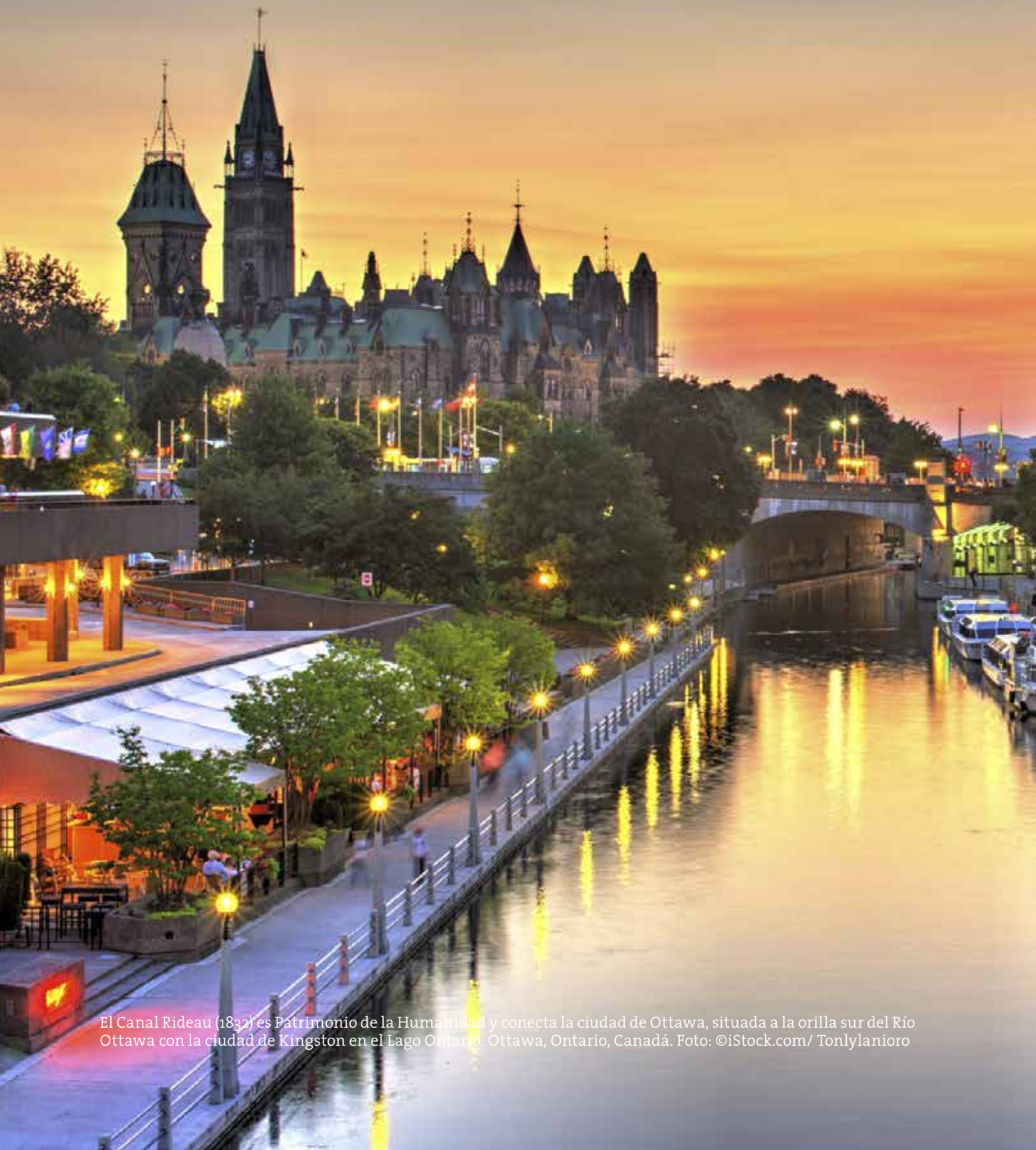
8. Referencias

- ANA-National Water Agency. Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil, Cadernos de Recursos Hídricos, 124 p. Brasília, DF. 2005.
- ANA-National Water Agency. Atlas Nordeste Abastecimento Urbano de Água. Agência Nacional de Águas, Brasília, DF, Documento Síntese, 82p. 2006.
- ANA-National Water Agency. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil. Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), Ministério das Cidades. Brasília – DF, 425 p. 2013.
- Asano, *et al.* Water Reuse, Issues, Technologies, and Applications, Metcalf & Eddy/AECOM, eds., McGraw Hill, New York. 2007.
- Bicudo C. E. M.; Tundisi J. G. and Scheuenstuhl M. C. B. (org). Águas do Brasil. Análises estratégicas. Academia Brasileira de Ciências, Inst. Botânica. 222 pp. 2010.
- Brasil. Nova Delimitação do Semiárido Brasileiro. Ministério da Integração Nacional, Brasília, DF, 35p. 2005.
- Brunckard JM, Ailes E, Roberts VA, Hill V, Hilborn ED, Craun GF, Rajasingham A, Kahler A, Garrison L, Hicks L, Carpenter J, Wade TJ, Beach MJ, Yoder JS. Surveillance for waterborne disease outbreaks associated with drinking water United States, 2007-2008. *Morb Mortal Weekly Rep* 60: 38-68. 2011.
- CETESB-Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Levantamento e diagnóstico de Enterovírus em mananciais que abastecem os principais municípios do estado de São Paulo. Available at: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/publicacoes/relatoriotecnico/2011-levantamento-diagnostico.pdf>>. Accessed in 17 April 2013.
- Cirilo, J. A. Políticas Públicas de Recursos Hídricos para o Semiárido Brasileiro. *Estudos Avançados*, USP, v. 63, p. 61-82. 2008.
- Cirilo, J. A. ; Cabral, J. ; Ferreira, J. P. L. ; Oliveira, M.J.P; Leitão, T. E.; Montenegro, S.M.G.L.; Goes, V. C. (Orgs). *O Uso Sustentável dos Recursos Hídricos em Regiões Semiáridas*. 1ª. ed. Recife, PE. Editora Universitária. 508p. 2007.
- Cisneros, Jimenes Blanca; Tundisi, J. G. *Diagnostico del agua em las Americas*. Fero consultivo científico y tecnológico. IANAS. 447 pp.
- Embrapa, 2008 <<http://www.urbanizacao.cnpn.embrapa.br/conteudo/discussao.html>> accessed in 12/12/2008
- Falkenmark, M., *Water Scarcity Generates Environmental Stress and Potential Conflicts*, Lewis Publishers, Inc. 1992.
- Fundação Getúlio Vargas. *Maiores Municípios Brasileiros no Período 2008-2011*. Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 74 p.
- Hashimoto, T., Stedinger, J. R., & Loucks, D. P. Reliability, resiliency, and 627 vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. *Water Resources* 628 Research, 18, 1). 1982.

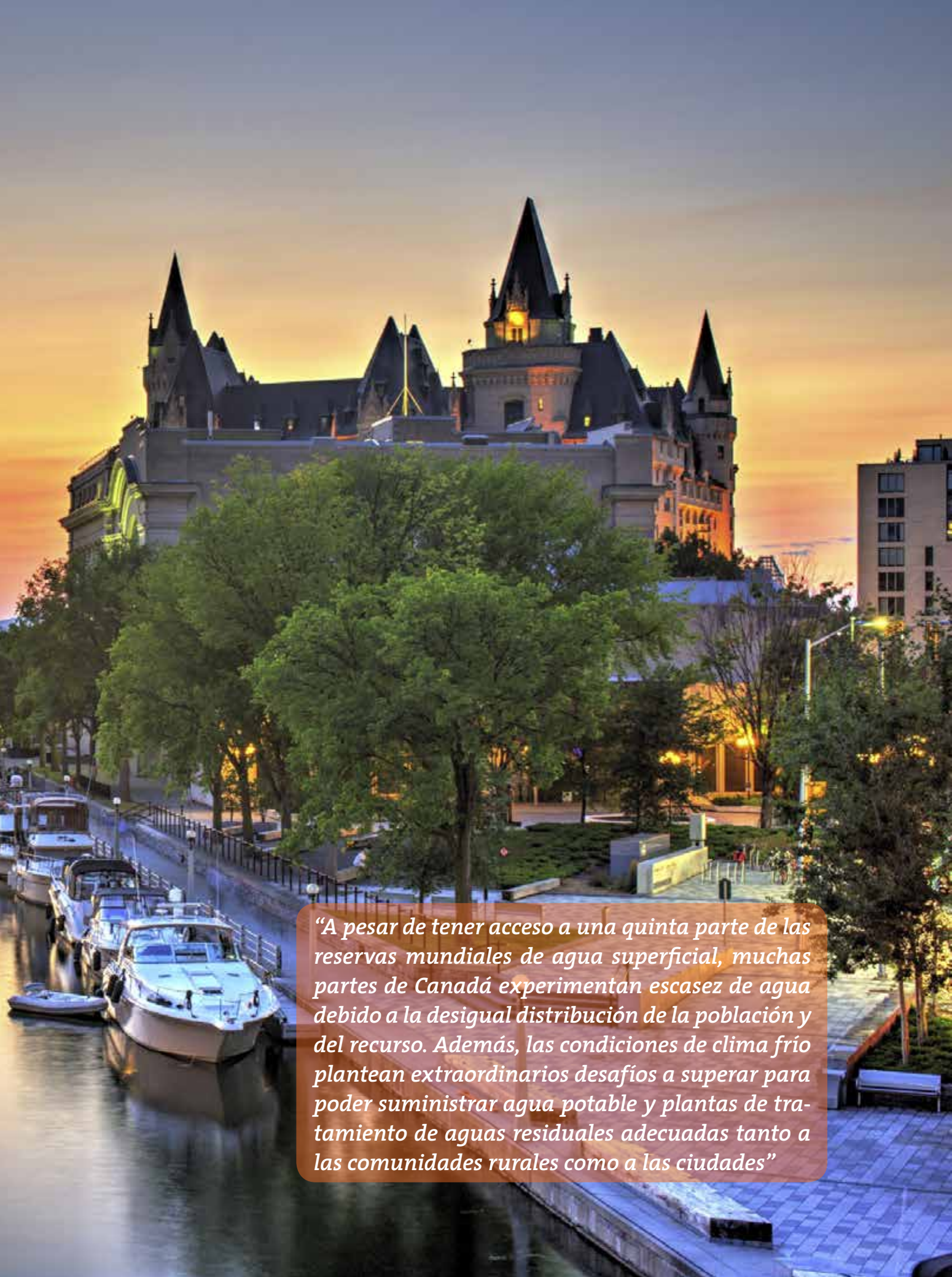
- Heide M. H.; Figueiredo, J. A. S.; Tundisi J. G. Pagamento por serviços ambientais. Incentivos econômicos para a proteção dos recursos hídricos e a restauração da mata ciliar. Entre meios Editora. 2013.
- Hespanhol, I.. Wastewater as a Resource, chapter 4, in: Water Pollution Control – A Guide to the Use of Water Quality Management Practices, Helmer & Hespanhol, Eds., WHO, UNEP, WSSCC, E&FN Spon, London. 1997.
- Hespanhol, I. Água e Saneamento Básico- Uma Visão Realista, pp.249-304, in: Águas Doces do Brasil, Capital Ecológico, Uso e Conservação, 717 pp., Coord. Rebouças, A.C., Braga, B., Tundisi, J.G, Ed. Escrituras, São Paulo. 1999.
- Hespanhol, I. Potencial de Reúso de Água no Brasil: Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos, Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH, vol.7, n° 4, dezembro, Edição Comemorativa, PP. 75-97, Porto Alegre, RS. 2002.
- Hespanhol, I., “Um Novo Paradigma para a Gestão de Recursos Hídricos”, Rev. De Estudos Avançados da USP, vol.22. n° 63, pp. 131-158, maio-agosto, São Paulo; IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2014), Atlas de Saneamento, disponível em <http://WWW.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/>. 2008.
- Hupffer, H. M. ; Wartha, P. M. ; Spilki, F. R. ; Santanna, G. S. . A flacidez da legislação brasileira em relação aos patógenos emergentes. Revista de Direito Ambiental, v. 69, p. 315-342, 2013.
- IBGE, Brazilian demographic statistics. In: Estatística IBdGe (ed). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Brasília. 2011.
- ICWE. The Dublin Statement and Report on the Conference and the International Conference on Water and the Environmental Development Issues for the Twenty-first Century, WMO, Genève, Switzerland. 1992.
- INSA, Instituto Nacional do Semiárido. <<http://www.insa.gov.br/>>, 10/06/2014.
- Jorgensen, S. E.; Tundisi J. G.; Matsumura-Tundisi T. Handbook of Inland Aquatic Ecosystem Management. CRC Press. Taylor & Francis. 422 pp. 2012.
- Kronemberger, D. Análise dos Impactos na Saúde e no Sistema Único de Saúde Decorrentes de Agravos Relacionados a um Esgotamento Sanitário Inadequado dos 100. 2012.
- McGranahan, G.; Marcotulio, P. Urban Systems. In: Ecosystem and Human Well-Being Current State and Trends. Volume 1. Island Press. 2005.
- Ministério da Integração Nacional. Projeto São Francisco. <http://www.integracao.gov.br/projeto-sao-francisco1> acessado em 10/06/2014.
- Miagostovich MP, Ferreira FFM, Guimarães FR, Fumian TM Diniz-Mendes, L; Luz, SLB; Silva, LA; Leite, JPG. Molecular detection and characterization of gastroenteritis viruses occurring naturally in the stream waters of Manaus, Central Amazônia, Brazil. Appl Environ Microbiol 74: 375-382. 2008.
- Pernambuco. Relatório de Ações 2007-2013. Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos, Recife, PE. 58p. 2013.
- Rees, W.E.,. Understanding urban ecosystems: an ecologic economics perspective in: Understanding Urban Ecosystem: A new Frontier for Sciences and Education. A.R. Berkowitz, C.H. Nilon and K.S.Kollweg (eds) Sriger-Verlang, New York 115-136p. 2003.
- Sobsey, M.D., Meschke, J.S. Virus survival in the environment with special attention to survival in sewage droplets and other environmental media of fecal or respiratory origin. World Health Organization. Available from: <http://www.unc.edu/courses/2008spring/envr/421/001/WHO_VirusSurvivalReport_21Aug2003.pdf>. Accessed in: 20 abr. 2011. 2003.
- Tucci, C. E. M. Água no meio urbano. Pp. 399-432. In: Rebouças a. Braga B. Tundisi J. G. Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação. Escritura Editora. 748 pp. 2006.

- Tucci, C. E. M. Urbanização e Recursos hídricos. Pp. 113-128. In: Bicudo C. E. M. Tundisi J. G. Scheuentsul M. C. B. In: *Águas do Brasil: Análises Estratégicas*. Academia Brasileira de Ciências, Inst Botânica. 222 pp. 2010.
- Tundisi, J.G.; Matsumura-Tundisi, T. Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. *Biota Neotrópica*. Vol. 10 (4). Pp. 67-76. 2010.
- Tundisi, J. G. and Scheuentsul, M. C. B. La política hídrica em Brasil. Pp. 97-111. In: Cisneros Jimenes Blanca y Tundisi J. G. *Diagnostico del agua em las Americas*. Fero consultivo científico y tecnológico. IANAS. 447 pp. 2012.
- Tundisi J. G.; Mastusuma-Tundisi, T. Ciência, Tecnologia, Inovação e Recursos Hídricos: Oportunidades para o futuro. Pp. 179-197. In: *Águas do Brasil: Análises Estratégicas*. Academia Brasileira de Ciências, Inst Botânica. 222 pp. 2010.
- Town Hall of São Paulo. *Precipitação em Estações Distritais no Município de São Paulo – Médias Mensais*, Secretaria das Administrações Regionais, Comissão Municipal de Defesa Civil, COM-DEC, São Paulo. 2014.
- UN, 2009 *Urban and Rural* <http://www.un.org/esa/population/publications/wup2007/2007urban_rural.htm accessed in 01/16/2009>
- USEPA, United States Environmental Protection Agency. *Guidelines for Water Reuse*, (EPA/625/R-04/108). Washington. DC. 2004.
- United Nations. *Water for Industrial Use, Economic and Social Council*, Report E/3058/STECA/50, United Nations, New York. 1958.
- UNESCO. *The United Nations World Development Report, Water for People, Water for Life*, disponível em <<http://www.unesco.org/water/wwap>>. 2003.
- Vieira C.B., Mendes A.C.O., Guimarães F.R., Fumian T.M., Leite J.P.G., Gaspar A.M.C., Miagostovich M.P. Detection of enteric viruses in recreational waters of an urban lagoon in the city of Rio de Janeiro, Brazil. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 107: 778-784. 2012.
- Vecchia A.D., Fleck J.D., Comerlato J., Kluge M., Bergamaschi B., Da Silva J.V.S., Da Luz R.B., Teixeira T.F., Garbinatto G.N., Oliveira D.V., Zanin J.G., Van Der Sand S., Frazzon APG, Franco AC, Roehe PM, Spilki, FR. First description of Adenovirus, Enterovirus, Rotavirus e Torque teno virus in water samples collected from the Arroio Dilúvio, Porto Alegre, Brasil. *Braz J Biol* 72: 323-329. 2012.
- World Bank. *World Development Report 2009. Reshaping Geography Economic*. World Bank. 2009.
- WHO. *Guidelines for Drinking-water Quality- Recommendations*. 3rd ed. Geneva: World Health Organization. vol. 1. Available from: <http://www.who.int/water_sanitation_health/dwqgd-wq3rev/en/>. Access in 5 May 2011. 2008.
- Zalewski, M. *Ecohydrology, biotechnology and engineering for cost efficiency in reaching the sustainability of the biosphere*. *Ecohydrology & Hydrobiology*. Vol. 14, pp. 14-20. 2014.
- World Bank. *World Bank Development Report, Development and the Environment*, World Bank Development Indicators, Oxford University Press, 308 pp., Washington, D.C., U.S.A. 1992.

Canadá



El Canal Rideau (1832) es Patrimonio de la Humanidad y conecta la ciudad de Ottawa, situada a la orilla sur del Río Ottawa con la ciudad de Kingston en el Lago Ontario. Ottawa, Ontario, Canadá. Foto: ©iStock.com/ Tonlylanioro



“A pesar de tener acceso a una quinta parte de las reservas mundiales de agua superficial, muchas partes de Canadá experimentan escasez de agua debido a la desigual distribución de la población y del recurso. Además, las condiciones de clima frío plantean extraordinarios desafíos a superar para poder suministrar agua potable y plantas de tratamiento de aguas residuales adecuadas tanto a las comunidades rurales como a las ciudades”

Un análisis de los recursos hídricos, su uso y tratamiento en Canadá

Banu Örmeci

Resumen

Canadá es el segundo país del mundo en tamaño de superficie y su extensión territorial abarca más de 9,98 millones de km² desde el Océano Atlántico hasta el Océano Pacífico. Está limitado al norte por el Océano Ártico y al sur por los Estados Unidos de América (EUA). Por su enorme tamaño, Canadá cuenta con una amplia gama de regiones climáticas y ecosistemas que inciden en la oferta, demanda, uso y tratamiento del agua. Las regiones frías y remotas enfrentan desafíos particularmente difíciles para suministrar agua potable y proporcionar un adecuado sistema de tratamiento de aguas residuales a sus comunidades. Canadá es considerado un país rico en agua con acceso a aproximadamente 20% de las reservas mundiales del agua a nivel superficial, además de incluir algunos de los lagos más grandes del mundo junto con miles de otros lagos pequeños distribuidos a lo largo y ancho de su territorio. Las aguas superficiales cubren 12% de su superficie total y los humedales 14% de su superficie terrestre. Asimismo, sus glaciares abarcan una superficie de 200 mil km² (Statistics Canada, 2010). Canadá cuenta con un suministro anual promedio de agua dulce renovable (conocido también como producción de agua) de 3,472 km³ que excede la producción de agua de muchos países más áridos, pero que representa tan sólo 36% de la producción de agua de Brasil y 60% de la India (Statistics Canada, 2010).

A pesar de que el agua es abundante a escala nacional, el país enfrenta problemas estratégicos y escasez de agua a nivel regional debido a la desigual distribución de su población y reservas de agua. En pocas palabras, no siempre se cuenta con agua donde se necesita. Por ejemplo, 98% de los canadienses vive en las regiones más cálidas del sur del país, en donde el suministro de agua dulce renovable es de sólo 38% (Statistics Canada, 2014). Además de eso, la mayor parte del agua dulce de Canadá fluye hacia el Norte, en donde el número de habitantes es relativamente menor. Como resultado de lo anterior, el consumo de agua puede exceder significativamente la producción en muchos lugares, incluyendo el sur de Saskatchewan, el sur de Manitoba y la región de los Grandes Lagos (Figura 2). Las praderas son áreas especialmente áridas que han experimentado repetidas y prolongadas sequías en las últimas décadas.

Canadá es un país rico y la mayoría de los canadienses cuentan con agua potable de alta calidad y la infraestructura necesaria para el tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, existen también muchas comunidades pequeñas, en particular, las comunidades indígenas y rurales, que enfrentan continuos y constantes problemas relacionados con la seguridad del agua potable y la contaminación de sus reservas de agua debido al inadecuado tratamiento de aguas residuales. Como resultado, conti-

núan suscitándose brotes de enfermedades transmitidas por agua. Las reservas de agua enfrentan cada vez a mayores problemas debido a la expansión de las zonas urbanas, el crecimiento económico e industrial, el desarrollo de la agricultura y los efectos del cambio climático, y el país requiere diseñar un plan integral de gestión del agua para hacer frente a estos problemas tácticos a través de un enfoque de adecuación integrador y participativo en todos los niveles de gobierno (Hipel *et al.*, 2013).

1. Recursos hídricos y los problemas ocasionados por el desarrollo

Canadá utilizó más de 42 km³ de su agua para uso doméstico e industrial en 2005, y cerca de 90% de esta agua fue destinada principalmente a la generación de energía termoeléctrica y a actividades económicas (Statistics Canada, 2010). Las industrias de pulpa y papel, minería y petróleo y gas constituyen las tres principales industrias de Canadá. Según datos de 2005, el sector de la manufactura, incluyendo

la industria de pulpa y papel, utilizó 14% del agua extraída, y las industrias del petróleo y del carbón utilizaron 12%. Otro 5% se atribuye al sector agrícola. De todos los sectores, las industrias del petróleo y del carbón se encargaron de la mayor reutilización y recirculación del agua de proceso, alcanzando 140% (Statistics Canada, 2010).

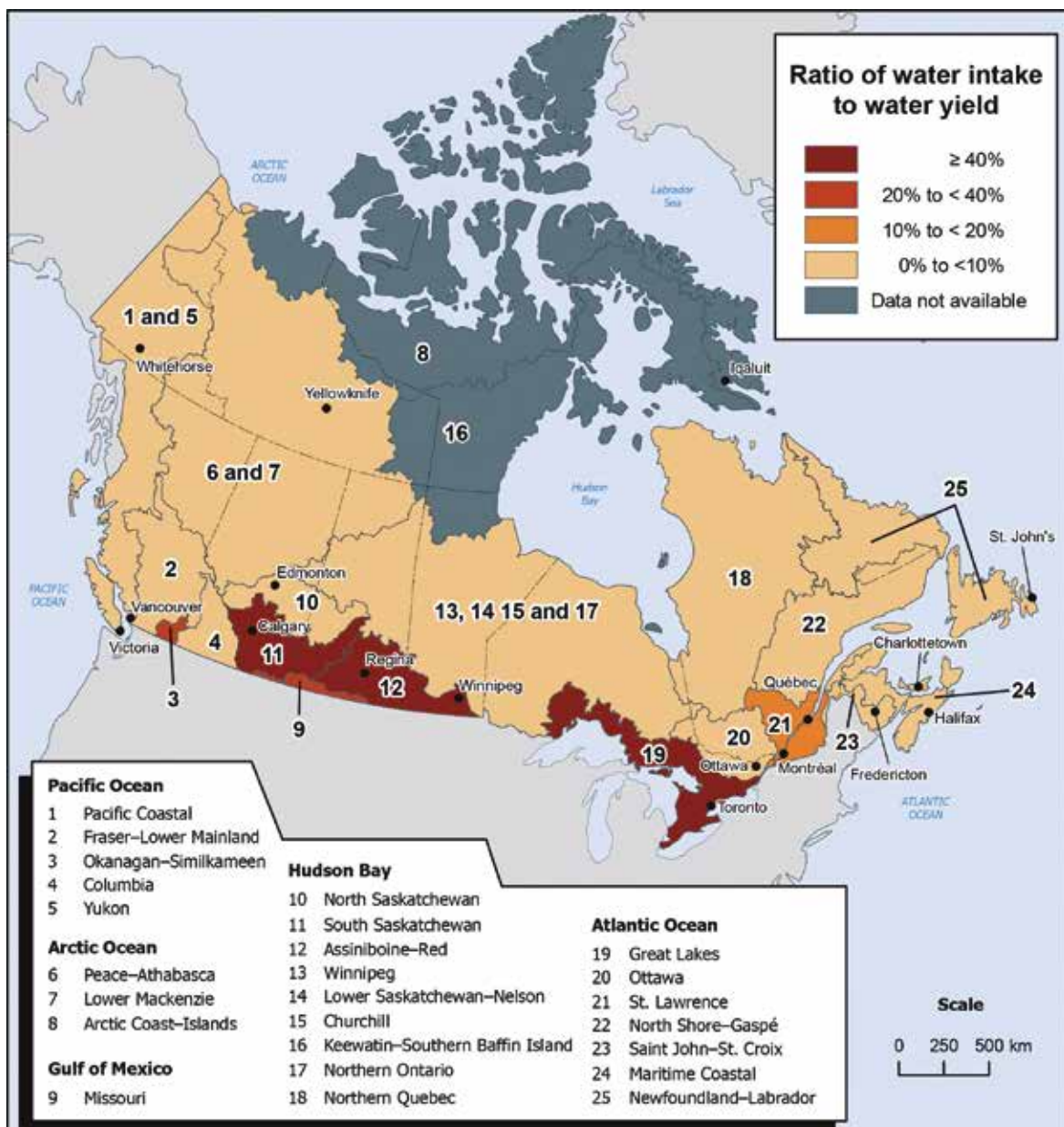
Figura 1. Lago Moraine, Parque Nacional Banff, Alberta, Canadá. Foto: ©iStock.comestivillml



El crecimiento económico, junto con la urbanización, desempeña un papel preponderante en la determinación de las demandas y retiros de agua. Las cada vez mayores demandas de extracción de agua pueden ejercer una enorme tensión sobre los recursos hídricos y representan una amenaza para los ecosistemas acuáticos y los peces. De la misma forma, las actividades antropogénicas pueden causar la contaminación de los cuerpos de agua y disminuir de manera importante la calidad general de ésta. La

eutrofización de los Grandes Lagos, las actividades industriales en el sur de Ontario y Quebec, las operaciones mineras de arenas petrolíferas en Alberta (Figura 3), los desarrollos de energía hidroeléctrica en el norte de Quebec y Labrador, las actividades agrícolas en las praderas, y la sobreexplotación de las aguas subterráneas son algunas de las principales presiones a las que se ven sometidos los recursos hídricos canadienses (Hipel *et al.*, 2013). Se espera que en un futuro próximo, el rápido crecimiento de las opera-

Figura 2. Relación de agosto de 2005 del consumo de agua y la producción mediana de agosto para 1971-2004



Fuente: Statistics Canada, 2010

Figura 3. Refinería de petróleo situada a orillas del río Athabasca que procesa el betún de las arenas petrolíferas.

Fort McMurray, Alberta, Canadá. Foto: ©iStock.com/Dan Barnes



ciones mineras de arenas petrolíferas en Alberta y Saskatchewan, que requieren grandes cantidades de agua para extraer y procesar el bitumen de las arenas petrolíferas, y la emergente fracturación hidráulica de gas de esquisto, especialmente en Alberta y la Columbia Británica, amplíen la demanda de este líquido, aumentando a su vez la presión ya existente tanto para las aguas superficiales como para las subterráneas.

Canadá comparte una vasta frontera con los EUA, y parte de la contaminación del agua causada por el desbordamiento del contaminado Lago Devils Lake en Dakota del Norte hacia la cuenca del Río Rojo en Manitoba, y continuando aguas abajo e incorporándose a lagos y ríos como el Lago Winnipeg, ha suscitado gran polémica entre los dos países (Hipel *et al.*, 2013). Preocupa la introducción de una amplia gama de contaminantes químicos y compuestos de sulfato, así como de especies acuáticas extranjeras desconocidas.

Canadá y los EUA comparten la cuenca de los Grandes Lagos, que constituye una importante fuente de agua dulce para ambos países. Las aguas

negras, los vertidos industriales, los fertilizantes y los pesticidas han afectado de forma negativa los lagos y disminuido la calidad del agua, lo que a su vez ha perjudicado el ecosistema. El Acuerdo de Calidad del Agua de los Grandes Lagos suscrito en 1972 entre Canadá y los EUA tiene como objetivo restaurar y proteger la calidad del agua y la vida silvestre en los Grandes Lagos, y fue modificado en 2012 con objeto de proporcionar una mejor atención a los asuntos nuevos que puedan surgir, como el cambio climático, las especies invasoras y la degradación del hábitat.

2. Servicios de suministro de agua

Probablemente debido a la disponibilidad y el bajo precio del agua, los canadienses se encuentran entre los mayores usuarios de agua per cápita en el mundo. El consumo de agua en los hogares era de 298 litros por persona diarios en 2009 (Statistics Canada, 2011), que representaba el doble de este líquido en

comparación con el consumo en Francia y un poco menor que el consumo per cápita en EUA. Sin embargo, se ha observado una tendencia a la baja en el uso del agua residencial en Canadá desde 2006 (Environment Canada, 2011), lo cual indica un cambio en el comportamiento del consumidor hacia un enfoque más sostenible para el uso del agua. Además, el aumento de los medidores de agua residencial (72%) y comercial (87%) en la última década ha contribuido a disminuir el consumo. Los datos de encuestas nacionales indican que los hogares que no cuentan con medidores y que pagan una tasa fija sobre su consumo, utilizan 65% más agua en comparación con los hogares que cuentan con medidores y que pagan una tarifa con base en su volumen de consumo (Environment Canada, 2011).

El Informe Metropolitano sobre el Uso del Agua 2011 (Environment Canada, 2011) ofrece los resultados más recientes de una encuesta llevada a cabo a nivel nacional sobre los sistemas de agua municipal y aguas residuales. La información que se obtuvo de la encuesta contribuye a tomar decisiones a partir de información confiable sobre la gestión eficiente del agua y los sistemas de aguas residuales, así como la identificación de áreas vulnerables en las que se requieren inversiones para mejoras. Sin embargo, la encuesta no incluye a las comunidades de los Pueblos Originarios, que enfrentan el mayor índice de ineficiencia y en donde se requieren sistemas de tratamiento de agua y aguas residuales.

De acuerdo con los resultados de la encuesta, 89% de los canadienses recibe agua de un sistema de distribución de la misma y 94% recibe agua tratada. Sin embargo, en las comunidades más pequeñas, el porcentaje de personas que están conectadas a un sistema de distribución de agua es sustancialmente menor. En comunidades con menos de mil personas, únicamente 50% de la población recibe agua de un sistema de distribución, mientras que 47% depende de pozos públicos y 2.5% tiene que acarrearla. El 75% del agua que suministra el municipio es tratada en estas comunidades. En las ciudades con poblaciones que exceden los 500 mil habitantes, casi todo el mundo (> 98%) recibe agua tratada de un sistema de distribución (Environment Canada, 2011).

Los municipios canadienses dependen principalmente de las aguas superficiales para abastecer de agua a sus residentes. En 2009, el 90% del agua

municipal provenía de aguas superficiales y el 10% restante de aguas subterráneas. El uso de aguas subterráneas era mucho mayor en los municipios más pequeños, alcanzando 50% en los municipios con poblaciones inferiores a mil habitantes. También se observó una variación regional en el uso de aguas subterráneas. En la Isla del Príncipe Eduardo, 100% del agua municipal procedía de aguas subterráneas y en los territorios el agua subterránea constituía 70% del suministro de agua municipal (Environment Canada, 2011). También cabe señalar que en Canadá el suministro total de agua de más de 80% de la población rural proviene de aguas subterráneas (Environment Canada, 2014).

Más de dos tercios de los canadienses (68%) bebían agua de la llave, independientemente de si provenía del sistema municipal o no. A pesar de contar con un muy buen sistema de tratamiento de aguas e infraestructura de distribución, en 2011 el 22% de los canadienses todavía prefería el consumo de agua embotellada, pero éste ha ido disminuyendo poco a poco, en parte debido a que se ha informado al público sobre la seguridad del agua potable. Además, 50% de los hogares canadienses purifica el agua en casa, principalmente mediante el uso de jarras de agua con filtro (33%) o sistemas de tratamiento instalados en la llave (20%) o en el sistema de distribución central del hogar (11%). Las principales razones que los usuarios manifestaron para usar filtros de tratamiento de agua en el hogar fueron el deseo de mejorar el sabor, el olor y la apariencia, y eliminar la dureza del agua mediante la extracción de minerales y metales (Statistics Canada, 2011).

3. Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales es importante para la protección de la salud pública y el medio ambiente. En general, los canadienses gozan de una infraestructura de alta calidad para el tratamiento de aguas residuales en muchas de sus provincias, pero también existen lugares en donde el sistema de tratamiento de agua es deficiente o inexistente. En las zonas rurales, la lejanía de las comunidades y las extremas condiciones climáticas plantean desafíos ex-

traordinarios para llevar a cabo el tratamiento de las aguas residuales. Más de 150 mil millones de litros de aguas residuales sin tratar o que no han sido tratadas correctamente se vierten en las vías fluviales anualmente en Canadá (Environment Canada, 2012), planteando una amenaza a la calidad de los suministros de agua y, por consiguiente, a la salud humana.

La recolección de aguas residuales, su tratamiento y su descarga son responsabilidad común de los gobiernos y municipios federales, provinciales y territoriales de Canadá. En las provincias y territorios, la mayoría de las infraestructuras de recolección y tratamiento son propiedad de los municipios y operadas por los mismos. Los Pueblos Originarios son propietarios y operadores de las infraestructuras comunitarias en las reservas. Hasta hace poco, Canadá no contaba con una política nacional en materia de tratamiento de aguas residuales, lo que dio lugar a grandes desacuerdos entre las provincias y los territorios con respecto al nivel de tratamiento de las aguas residuales y la calidad del efluente. Con objeto de solucionar esto, el Gobierno federal estableció los primeros estándares nacionales para el tratamiento de aguas residuales en julio de 2012. El Reglamento de Sistemas de Aguas Residuales y Calidad de Efluentes dio origen a las normas básicas para el tratamiento de aguas residuales en Canadá que requieren un proceso de tratamiento secundario (biológico) o equivalente. El reglamento también establece requisitos adicionales de seguimiento, reportes y pruebas de toxicidad. Las nuevas normas se aplican a los sistemas de aguas residuales que manejan un volumen diario promedio del flujo entrante de 100 m³ o más, pero no se aplican a los sistemas con volúmenes menores. Los sistemas de aguas residuales en el extremo Norte, como Nunavut, Terranova, Labrador, los Territorios del Noroeste y el norte de Quebec también han quedado exentos.

El nuevo Reglamento establece que los sistemas de aguas residuales no deben exceder 25 mg/L de la demanda bioquímica de oxígeno carbonosa promedio (CBOD), 25 mg/L en promedio de la concentración de sólidos en suspensión, 0.02 mg/L en promedio de la concentración de cloro residual total, y 1.25 mg/L de la concentración máxima de amoníaco no ionizado expresado como nitrógeno (N) a 15°C ± 1°C. Es necesario que tanto los propietarios como los operadores de los sistemas de tratamiento de aguas residuales den

seguimiento a la calidad y volumen de los efluentes e informen sobre ello. Asimismo, los propietarios junto con los operadores de las redes de alcantarillado deben vigilar, tomar nota e informar sobre la frecuencia y cantidad de vertidos de aguas residuales sin tratar a cuerpos de aguas superficiales.

El Reglamento también establece plazos para el cumplimiento de las normas por parte de los sistemas de tratamiento basado en un sistema de puntos que toma en cuenta el tamaño de la comunidad, los factores de riesgo y la sensibilidad de la zona. Se estimó que aproximadamente 850 sistemas de aguas residuales, que constituían 25% de las instalaciones de tratamiento actualmente en uso en Canadá, requerían poner en práctica tratamientos secundarios o equivalentes (Environment Canada, 2012). La modernización de estos sistemas se llevará a cabo en etapas y los sistemas de alto riesgo contarán con un periodo que cubre hasta el año 2020 para realizar los ajustes necesarios, los sistemas de riesgo medio hasta 2030 y los sistemas de bajo riesgo hasta el año 2040; la introducción a largo plazo de las mejoras ha sido objeto de fuertes críticas. Durante este período, las instalaciones de tratamiento de aguas residuales podrán obtener “autorizaciones provisionales” que les permitirán continuar operando en tanto se realizan los cambios necesarios requeridos. El costo de estos cambios en los sistemas de tratamiento, incluidos el capital y los costos de operación ha sido estimado en \$5,5 mil millones, y los beneficios estimados en \$16.5 mil millones (Environment Canada, 2012).

De acuerdo con el Informe Municipal del Uso del Agua de 2011 (Environment Canada, 2011), 43% de los canadienses viven en municipios con poblaciones por debajo de los mil habitantes. Un total de 28.1 millones de habitantes de 1 mil 524 municipios fueron consultados en cuanto al nivel de tratamiento de aguas residuales y conexión a la red de alcantarillado. Los resultados revelaron que 87% de la población de estos municipios estaba conectado a la red de alcantarillado, mientras que 12% contaba con tanques sépticos y otro 0.5% usaba tanques de aguas negras y transporte de aguas residuales. En los grandes municipios con poblaciones de 500 mil personas o más, 98% contaba con acceso al alcantarillado, pero en los municipios con menos de mil habitantes únicamente 47% estaba conectado al sistema de drenaje. Más de 86% de las poblaciones de todas las provincias,

con excepción de Nueva Escocia, contaba con acceso a la red de alcantarillado. En Nueva Escocia, 68% de la población estaba conectada a la red de alcantarillado y el 32% restante usaba tanques sépticos privados. En tres territorios (Territorios del Noroeste, Nunavut y Yukon), 76% de la población está conectado a la red de alcantarillado y 8% de los hogares cuenta con fosas sépticas; una cifra relativamente baja. En

cambio, 15% de la población utiliza tanques de aguas negras que son recolectadas y transportadas a instalaciones centrales de tratamiento o eliminación. Los tanques de aguas negras se usan muy poco en otras partes de Canadá.

La Figura 4 muestra el nivel de tratamiento de aguas residuales empleado en Canadá sobre la base del tamaño de las poblaciones de los municipios. El

Figura 4. Nivel de tratamiento de aguas residuales por tamaño de municipio (Environment Canada, 2011)

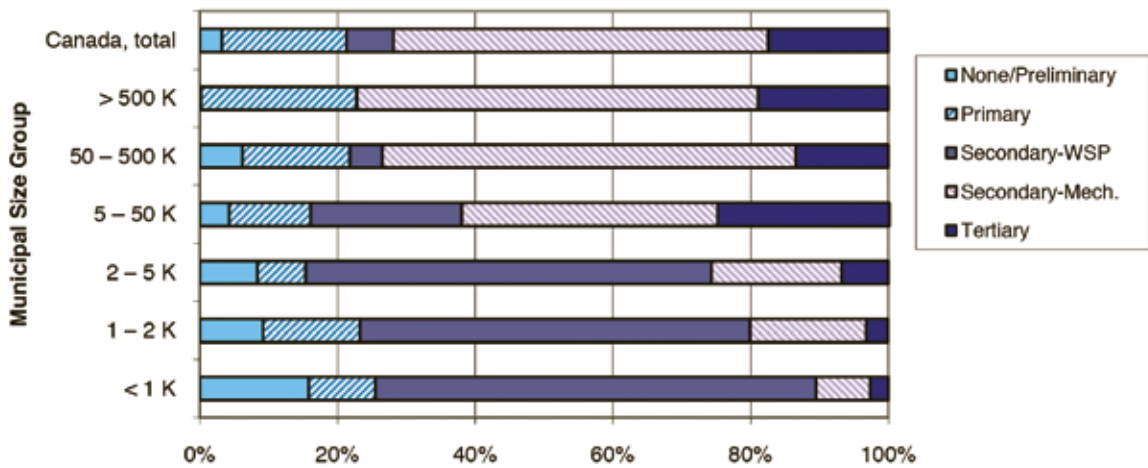


Figura 5. Niveles de tratamiento de aguas residuales por provincias y territorios (Environment Canada, 2011)

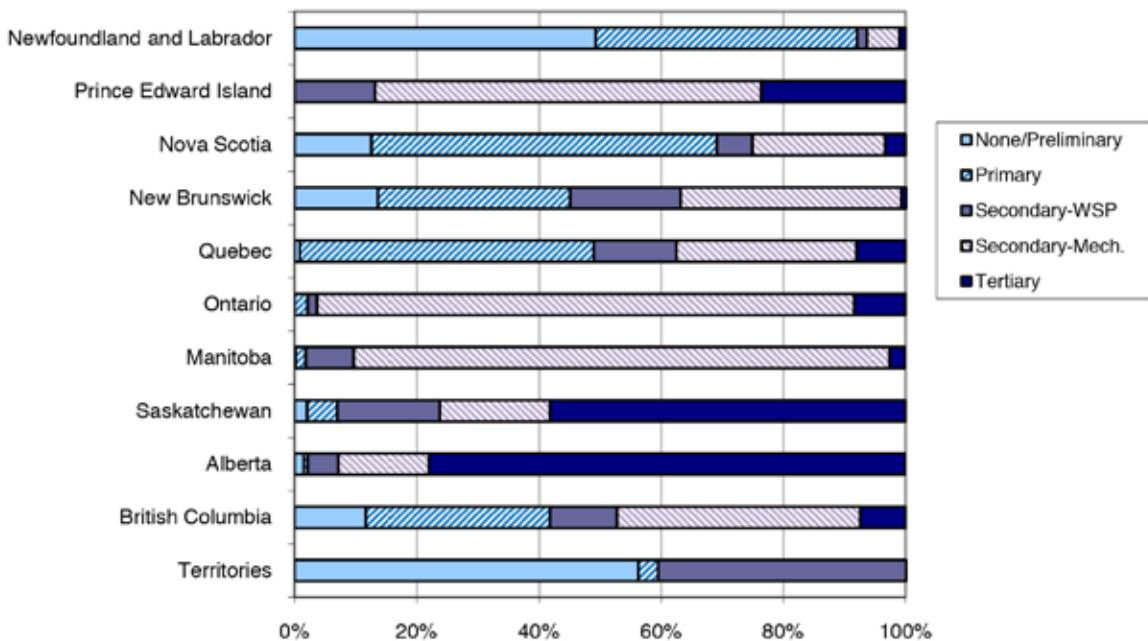
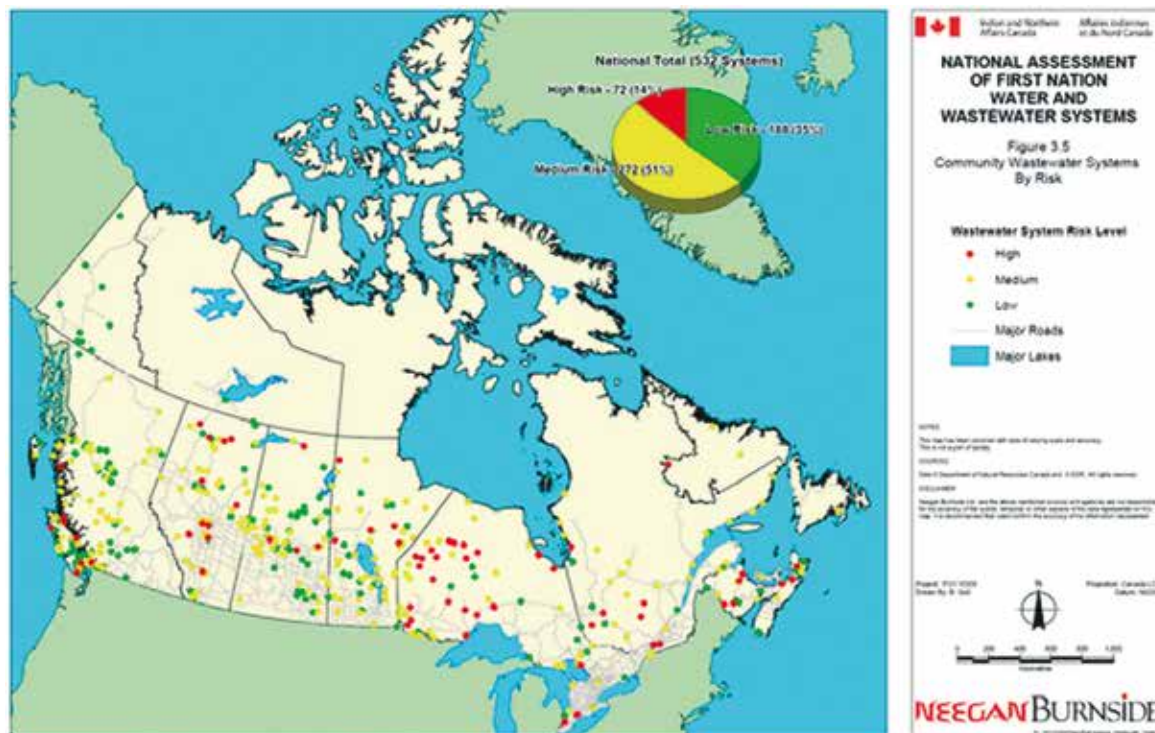


Figura 6. Sistemas de Aguas Residuales de la comunidad de Pueblos Originarios clasificados por alto, medio y bajo riesgo



Fuente: Neegan Burnside, 2011

nivel de tratamiento de aguas residuales mostró una variación de ningún tratamiento a tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario dependiendo del tamaño y la ubicación de las comunidades. En este contexto, ningún tratamiento significa agua cruda; tratamiento preliminar es la extracción de impurezas y objetos de gran tamaño; tratamiento primario es la remoción de sólidos mediante el uso de tanques de sedimentación; tratamiento secundario es la eliminación biológica de materia orgánica por lagunas; tratamiento secundario-mecánico es la eliminación biológica de la materia orgánica en las plantas de tratamiento; y tratamiento terciario es básicamente la eliminación de nutrientes tales como nitrógeno y fósforo. De los aproximadamente 24.5 millones de usuarios conectados a la red de alcantarillado, 55% se atiende a través de un tratamiento secundario-mecánico, 7% mediante un tratamiento secundario en lagunas de estabilización y 17% a través de un tratamiento terciario. No obstante, 3% de aquéllos recibe el servicio sin ningún tratamiento de por medio o después de un tratamiento preliminar únicamente,

y 18% recibe el servicio después de un tratamiento primario. También debe tenerse en cuenta que el porcentaje de usuarios que reciben el servicio sin ningún tratamiento de por medio, un tratamiento preliminar o uno primario sería sustancialmente mayor en las zonas rurales en donde no existe una red de alcantarillado, ya que los datos de estas zonas no fueron incluidos en esta figura.

4. Agua y salud

Canadá cuenta con una red bien establecida de sistemas de agua, y en general los canadienses disfrutan de un suministro de agua potable segura y de alta calidad. Son raras las enfermedades que se le atribuyen al agua, pero continúan ocurriendo, especialmente en las regiones rurales y las comunidades aborígenes en donde la operación y el mantenimiento de los sistemas de tratamiento y distribución de agua presentan dificultades para su realización. Las frías condiciones climáticas también presentan desafíos únicos para el diseño e instalación de los

sistemas de agua. Además, un gran porcentaje de la población recibe agua de los sistemas subterráneos y pozos individuales que son más susceptibles a contaminación y que aumentan el riesgo de enfermedades transmitidas por agua. Según un informe de Environment Canada, 30% de los canadienses y 80% de la población rural depende del agua subterránea (Nowlan, 2005).

No existe un sistema nacional de vigilancia que se encargue de dar seguimiento a temas como la incidencia y la frecuencia de brotes de enfermedades transmitidas por agua en Canadá y, además, es probable que un gran porcentaje de estos incidentes no se detecten o reporten. Canadá ha experimentado una serie de brotes de enfermedades por el consumo de agua recientemente, y el brote Walkerton en 2000, en el que murieron siete personas y otras 2 mil 500 se enfermaron, ha sido el de mayor importancia. El suministro de agua subterránea de Walkerton se contaminó por agua de escurrimiento con la cepa O157:H7 de *E. coli*, y varios factores contribuyeron a esta tragedia, entre ellos, la falta de capacitación formal así como las prácticas operativas no adecuadas por parte del personal de tratamiento de agua. El costo total del brote Walkerton, incluyendo los costos tangibles e intangibles, ascendió a \$155 millones de dólares (Livernois, 2002). Esta tragedia dio origen a que se realizaran muchos cambios en las políticas y legislaciones provinciales de todo Canadá con respecto a la seguridad y la calidad del agua potable, así como a mejoras para la protección de las fuentes de suministro, la formación y certificación de los operadores, y la gestión y operación de los sistemas de agua. Más importante aún, el brote Walkerton resultó en la creación de programas y centros eficaces (por ejemplo, el Walkerton Clean Water Centre y la Ontario Clean Water Agency) que se encargan de la formación del personal que realiza las operaciones de tratamiento, así como del funcionamiento correcto de los sistemas de tratamiento y distribución con especial atención a los sistemas más pequeños, distantes y aislados. Otros brotes importantes de enfermedades por consumo de agua en Canadá fueron la epidemia por criptosporidiosis en North Battleford, Saskatchewan, en 2001 en la que 2 mil personas se enfermaron, y el brote Kashechewan en el norte de Ontario en 2005, en el que 2 mil aborígenes se infectaron debido a una avería mecánica en la planta de tratamiento de agua. Casi todos los habitantes de la

reserva Kashechewan tuvieron que ser trasladados en helicóptero a las comunidades de Ontario para recibir atención médica.

Entre 1993 y 2008 se puso en práctica un sistema de vigilancia para detectar la aparición de enfermedades relacionadas con el agua potable en Canadá y los resultados se publicaron en un reporte en 2009 (Wilson *et al.*, 2009). Basándose en las respuestas recabadas en un formulario y en las entrevistas realizadas, se pudieron identificar 47 episodios de enfermedades transmitidas por agua en el periodo mencionado. En promedio, se estableció que se produjeron 5-6 episodios de enfermedades transmitidas por agua al año antes de 2001, una cifra que descendió sustancialmente a 1 o 2 episodios por año después de 2001, lo cual se debió probablemente a las medidas adoptadas después de los incidentes de Walkerton y North Battleford. La solitaria y la criptosporidiosis fueron los agentes etiológicos responsables de 40% de los episodios de enfermedades transmitidas por agua. Las infecciones por *Giardia Lamblia* y criptosporidiosis fueron las más comunes cuando el suministro procedía de aguas superficiales, mientras que las infecciones ocasionadas por bacterias y virus (*E. coli*, salmonela, estafilococo dorado, norovirus y Hepatitis A) fueron ocasionadas por aguas subterráneas. En 50, 39 y 11% de los episodios de enfermedades transmitidas por agua, el agua que causó el brote procedía de aguas superficiales, aguas subterráneas y una combinación de ambas, respectivamente, lo que indica que la mitad de los brotes fueron causados por agua proveniente de ríos y lagos, que son más susceptibles a contaminarse. Curiosamente, *Giardia Lamblia*, las bacterias y los virus son los agentes causantes predominantes en los casos en los que no se utilizó ningún tratamiento salvo un proceso de desinfección, mientras que la bacteria criptosporidiosis fue la principal responsable de los brotes en los sistemas de agua en los que se realizan procesos de filtrado y desinfección. La frecuencia de los episodios de enfermedades transmitidas por agua fue seis veces mayor en las comunidades con menos de mil personas en comparación con comunidades con más de 100 mil habitantes.

El nivel y la calidad del proceso de tratamiento de agua desempeñan un importante papel en la prevención de enfermedades transmitidas por agua. En 2007, el 55% del agua tratada provenía de plantas convencionales de tratamiento y filtración directa

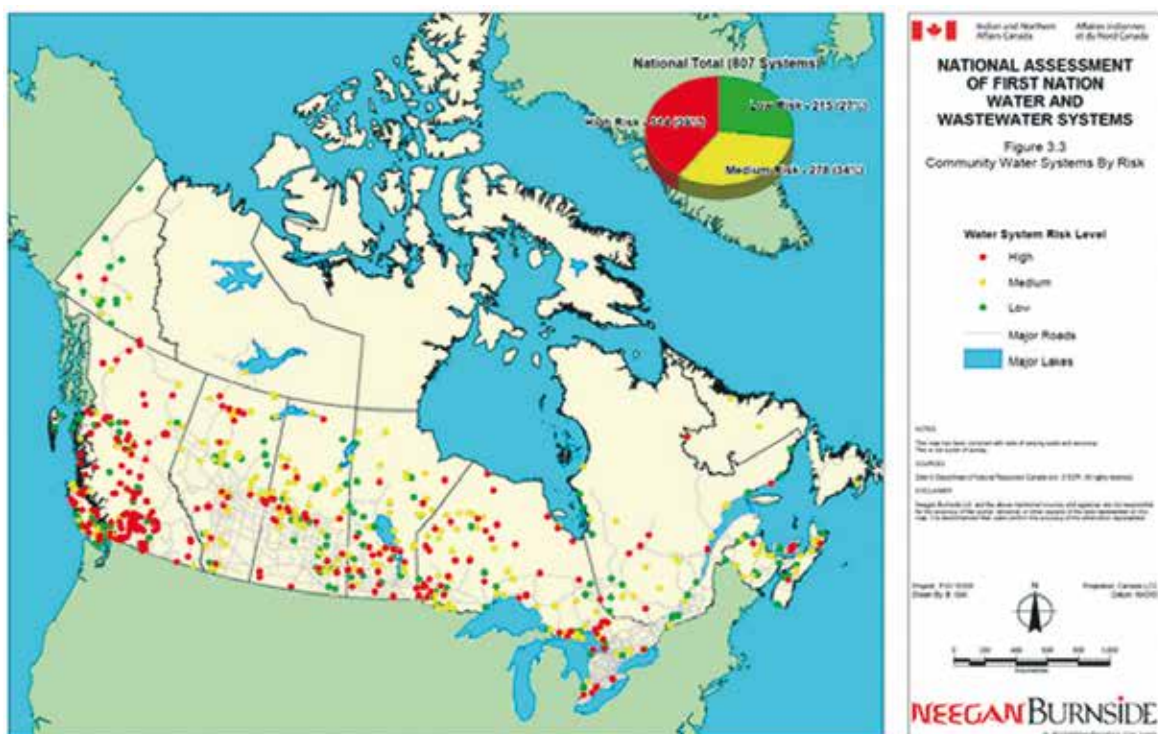
que suministraban agua a la mitad de la población de Canadá (Statistics Canada, 2009). Aproximadamente 8.7% de los canadienses que viven en comunidades de 300 o más personas recibe agua de un sistema de agua sin ningún tratamiento. En el caso de los sistemas privados como los pozos, sólo 35% de los propietarios dijo realizar pruebas de calidad al agua (Statistics Canada, 2007) y 21% indicó que nunca había llevado a cabo ningún tipo de análisis (Jones *et al.*, 2007).

Una causa de preocupación con respecto a enfermedades transmitidas por agua son los sistemas de agua potable pequeños, ya que con frecuencia se enfrentan a una amplia gama de desafíos. Se encontró que los factores que contribuyeron a los brotes de enfermedades transmitidas por el agua en Canadá, en especial en sistemas pequeños, están relacionados con la falta de protección de las fuentes de agua: las precipitaciones, un alto nivel de enturbiamiento, el deshielo de la primavera y los escurrimientos, un mal funcionamiento o funcionamiento no adecuado de los sistemas de tratamiento de agua, errores en los sistemas de distribución de agua y otros factores como errores humanos (Moffatt y Struck, 2011). Se co-

menzó a asociar los cambios realizados en la infraestructura de los sistemas, las operaciones y prácticas de tratamiento de agua y los fenómenos meteorológicos extremos con la ocurrencia de brotes, y se sugirió tomar estos cambios como una advertencia de posibles brotes para que la población tomara las precauciones necesarias (Hrudey y Hrudey, 2004). También se señaló que el monitoreo de la calidad del agua que se lleva a cabo con objeto de detectar indicadores de bacterias, patógenos, enturbiamiento y cloro residual resulta ser muy eficaz en la prevención de brotes de enfermedades transmitidas por agua cuando son los organismos gubernamentales quienes lo ponen en práctica, en lugar de que lo lleven a cabo los propietarios u operadores privados (Moffatt y Struck, 2011).

La insuficiencia de los sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento en las comunidades de los Pueblos Originarios ha sido bien conocida y documentada. A pesar de las considerables inversiones llevadas a cabo para los sistemas de agua y saneamiento en las comunidades de los Pueblos Originarios, los problemas persisten y todavía se puede

Figura 7. Sistemas de Aguas Residuales de la Comunidad de los Pueblos Originarios clasificados según el nivel de riesgo (alto, medio y bajo) (Neegan Burnside, 2011)



encontrar un alarmante número de alertas que recomiendan hervir el agua en estas comunidades. En Canadá, el Departamento de Asuntos Aborígenes y Desarrollo del Norte de Canadá (AANDC) ofrece financiamiento y asesoría para ayudar en el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de agua y aguas residuales así como para la formación y certificación de los operadores. No obstante, los Pueblos Originarios deben hacerse cargo de la operación diaria y la gestión de sus sistemas de agua y aguas residuales.

Los resultados de la Evaluación Nacional de Sistemas de Agua y Aguas Residuales de los Pueblos Originarios (Neegan Burnside, 2011) revelaron que de los 807 sistemas de agua potable inspeccionados, 39% fueron de alto riesgo, 34% de riesgo medio y 27% de bajo riesgo. La Figura 7 muestra que los sistemas de agua de riesgos alto, medio y bajo se regiones específicas de los Pueblos Originarios. La Columbia Británica (53%) y Ontario (46%) resultaron tener el mayor porcentaje de sistemas de agua de alto riesgo. La mayoría de los sistemas de alto riesgo están ubicados en comunidades pequeñas y sólo 30% del nivel de riesgo de estos sistemas de alto riesgo se atribuyó al diseño y la infraestructura de los sistemas. Esto pone de manifiesto la importancia y necesidad de capacitación de los operadores en las comunidades de los Pueblos Originarios. El Programa de Capacitación *Circuit Rider* pretende abordar las deficiencias en esta área. El programa ofrece capacitación continua y participativa a los operadores de los Pueblos Originarios en sus propios sistemas y su objetivo es lograr la operación y mantenimiento seguro de los sistemas de agua. El programa cuenta también con una línea telefónica de asistencia las 24 horas que ofrece ayuda a los operadores para resolver sus dudas y situaciones de emergencia.

5. El cambio climático y sus efectos en los recursos hídricos

Los modelos climáticos globales predicen un aumento de precipitaciones y evaporación de entre 3 y 15% cuando el CO₂ se duplica en la atmósfera. Según un informe de 2014 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, las emisiones anuales de gases de efecto invernadero (GEI) alcan-

zaron 49.5 mil millones de toneladas de dióxido de carbono equivalentes en 2010 y continúan aumentando (IPCC, 2014a). Los modelos climáticos también predicen fenómenos meteorológicos extremos como grandes tormentas, huracanes, inundaciones, sequías y derretimiento de hielo en un futuro próximo. Es bien sabido que los cambios y variabilidad en el clima darán lugar a un cambio en la disponibilidad y distribución del agua, que ya se está haciendo evidente en muchas regiones de Canadá (Figura 8). El aumento de las temperaturas, el derretimiento del hielo y la evaporación, afectarán la variabilidad estacional del agua y aumentarán aun más la competencia por el uso del agua entre los municipios, la industria y el sector agrícola en Canadá en un futuro próximo (IPCC, 2014b). El uso de los recursos hídricos ha ido en aumento debido al rápido crecimiento económico y de población en el sur de Canadá, y el cambio climático ejercerá una presión adicional a esta situación.

Uno de los mayores problemas de agua ocasionados por el cambio climático en Canadá ha sido el deshielo de los glaciares de las montañas rocosas del oeste de Canadá (Columbia Británica, extremo occidental de Alberta y el este del Ártico) y mayores sequías en las provincias de las Praderas (Alberta, Saskatchewan, y Manitoba) (Hipel *et al.*, 2013). Aproximadamente 2% del territorio canadiense son glaciares y, después de la Antártida y Groenlandia, Canadá es el país con más hielo glacial (CCME, 2003). Los glaciares almacenan agua en forma de hielo en el invierno y la liberan lentamente en el verano, cuando más se necesita para uso municipal, agrícola e industrial. El derretimiento de los glaciares ha cambiado de forma importante los patrones de flujo estacional de los ríos que fluyen a través de las provincias de las praderas y se reportó una reducción de 20-84% en los flujos de verano (Schindler y Donahue, 2006). Las temperaturas más cálidas, el incremento de las precipitaciones, el derretimiento de la nieve y los sucesos climáticos extremos también influyen en la calidad del agua, ya que aumentan el transporte de sedimentos, nutrientes y una amplia gama de contaminantes (por ejemplo, fertilizantes, pesticidas, compuestos disruptores endocrinos) hacia las aguas superficiales y los acuíferos. Además, el aumento de la frecuencia y fuerza de las lluvias y tormentas incrementará los desbordamientos de la red de alcantarillado y de aguas residuales no tratadas que irán a parar a aguas superficiales, lo que ya

de por sí es un gran problema en la mayoría de las ciudades canadienses. El impacto negativo del cambio climático en la calidad del agua ya es evidente en muchas provincias, en especial en Ontario y Quebec, en donde los lagos con una variedad de nutrientes y temperaturas más cálidas han dado lugar a la proliferación de algas tóxicas verde-azules que impiden que el agua sea apta para consumo humano.

Otros efectos de las temperaturas más cálidas en los sistemas de agua incluyen el aumento del nivel del mar en la costa del Pacífico, las posibles inundaciones en zonas bajas y deltas densamente pobladas, la mortalidad pre-desove del salmón del Pacífico, el aumento de incendios forestales, sequías más frecuentes en las praderas, el aumento de la temperatura en los Grandes Lagos y la disminución de los niveles de agua, la desaparición de los humedales, el derretimiento gradual del hielo permanente, y la contaminación de acuíferos con agua salada y contaminantes (Environment Canada, 2014).

Los cambios en los sistemas de agua derivados del cambio climático pueden tener consecuencias importantes para el medio ambiente, la economía y la salud pública (TRCA y ESSA, 2012). El costo de las

inundaciones ocurridas en el sur de Alberta en 2010 fue de \$956 millones y la sequía de 2001-2002 en Saskatchewan resultó en pérdidas de \$6 mil millones en el PIB y 41 mil empleos. En 2005, una tormenta de verano en el suroeste de Ontario y la inundación resultante ocasionaron daños con reclamaciones a las compañías de seguros por \$500 millones. Las fuertes lluvias y tormentas también han jugado un papel importante en los brotes de enfermedades transmitidas por agua en Walkerton, Ontario (2000) y en North Battleford, Saskatchewan (2001), y ha sido necesario emitir numerosas alertas recomendando hervir el agua en regiones remotas y comunidades aborígenes.

Basándose en la mayor gravedad y frecuencia de los peligros meteorológicos y del agua que se observa a nivel mundial, es evidente que los países tienen que reconsiderar y revisar su enfoque en cuanto a la gestión del agua (IPCC, 2014a; TRCA y ESSA, 2012). Canadá se dirige hacia el desarrollo de un enfoque flexible que considere los riesgos y se adecue para una gestión del agua que demanda un análisis integrado de la infraestructura, así como la adopción de nuevas políticas y prácticas de gestión de los recursos hídricos.

Figura 8. Iceberg y glaciar en proceso de derretimiento en el Parque Nacional Jasper (Alberta, Canadá). Foto: ©iStock.com/coryz



6. Conclusiones

Canadá tiene acceso a aproximadamente 20% de las reservas mundiales de aguas superficiales. Sin embargo, y debido a la desigual distribución de la población y suministros de agua, muchas regiones experimentan escasez de este líquido. Además, los problemas de agua ocasionados por el aumento de la población, la urbanización, el desarrollo económico y el cambio climático van en aumento, y han comenzado a representar una amenaza para la calidad y cantidad de aguas superficiales y subterráneas. En general, Canadá cuenta con una buena red de infraestructura para el agua y las aguas residuales que es capaz de proporcionar agua potable y una buena red de alcantarillado a sus habitantes. Sin embargo, existen también muchas comunidades pequeñas, en particular, las comunidades indíge-

nas y rurales, que enfrentan continuos y constantes problemas relacionados con la seguridad del agua potable y la contaminación de sus reservas de agua debido al inadecuado tratamiento de las aguas residuales. Las condiciones climáticas extremas y la lejanía plantean desafíos adicionales para el diseño, construcción y operación de la infraestructura del agua y aguas residuales. Como resultado de lo anterior, continúan los brotes de origen hídrico pero su frecuencia ha disminuido sustancialmente en la última década, debido principalmente a las inversiones realizadas a los programas de infraestructura de agua y aguas residuales y del establecimiento de programas de capacitación para operadores de sistemas pequeños.

7. Reconocimientos

Las ilustraciones 2, 4, 5, 6 y 7 se obtuvieron de informes publicados por el Gobierno de Canadá y su uso en este libro fue autorizado. El contenido de este libro se llevó a cabo sin la intervención del gobierno canadiense.

8. Bibliografía

- CCME, Canadian Council of Ministers of the Environment (2003) *Climate, Nature, People: Indicators of Canada's Changing Climate*, Winnipeg, Canada. Available at http://www.ccme.ca/assets/pdf/cc_ind_full_doc_e.pdf
- Environment Canada (2011) 2011 Municipal Water Use Report: Municipal water use 2009 statistics. Cat no: En11-2é2009E-PDF. Available at http://www.ec.gc.ca/Publications/B77CE4Do-8oD4-4FEB-AFFA-0201BE6FB37B%5C2011-Municipal-Water-Use-Report-2009-Stats_Eng.pdf
- Environment Canada (2012) *Environment Canada's Wastewater Systems Effluent Regulations*, Available at http://www.fcm.ca/Documents/tools/FCM/wastewater/Environment_Canadas_Wastewater_Systems_Effluent_Regulations_EN.pdf
- Environment Canada (2014) *Water and Climate Change*. Available at <http://www.ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=En&n=3E75BC40-1>
- Health Canada (2009) *Drinking Water Advisories in First Nation Communities in Canada: A National Overview 1995-2007*. ISBN: 978-1-100-12670-8. Available at http://www.hc-sc.gc.ca/fniah-spnia/alt_formats/pdf/pubs/promotion/environ/2009_water-qualit-eau-canada/2009_water-qualit-eau-canada-eng.pdf
- Hipel, K., Miall, A. D., and Smith, D. W. (2013) *Water Resources in Canada: A Strategic Viewpoint*, in *Diagnosis of Water in the Americas*, Edt. Jiemenez-Jisneros, B. and Galizia-Tundisi, J. Interamerican Network of Academies of Sciences. ISBN: 987-607-96209-2-9
- Hrudey, S. E. and Hrudey, E. J. (2004) *Safe Drinking Water: Lessons from Recent Outbreaks in Affluent Nations*, London UK, IWA Publishing. ISBN: 1843390426.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2014a) *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner,

- K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2014b) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jones, A.Q., Majowicz, S.E., Edge, V. L., Thomas, M. K., MacDougall, L., Fyfe, M., Atashband, S., and Kovacs, S.J. (2007) Drinking water consumption patterns in British Columbia: An investigation of associations with demographic factors and acute gastrointestinal illness. *Science of the Total Environment*, 388 (1-3): 54-65.
- Livernois, J. (2002) Value-of-Life Estimates in an Economic Cost Assessment. The Walkerton Inquiry, Commissioned Paper 15, Ontario Ministry of the Attorney General. Available at www.walkertoninquiry.com.
- Moffat, H. and Struck, S. (2011) Waterborne disease outbreaks in Canadian Small Drinking Water Systems. National Collaborating Centres for Public Health, November 2011. Available at http://www.nccph.ca/docs/SDWS_Water-borne_EN.pdf
- Neegan Burnside (2011) National Assessment of First Nations Water and Wastewater Systems: National Roll-Up Report Final. Department of Indian Affairs and Northern Development. File No: FGY1630807. Available at <http://www.aadnc-aandc.gc.ca/eng/1313770257504/1313770328745>
- Nowlan, L. (2005) *Buried Treasure: Groundwater Permitting and Pricing in Canada*. The Walter and Duncan Gordon Foundation, Toronto, ON. ISBN 0-9737651-0-0. Available at http://powi.ca/wp-content/uploads/2012/12/Buried_Treasure-Groundwater-Permitting-and-Pricing-in-Canada-2005.pdf
- Schindler, D. W. and Donahue, W. F. (2006) An impending water crisis in Canada's western Prairies provinces. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 103, No. 19, 7210-7216.
- Statistics Canada (2007) *Households and the Environment*. Catalogue no: 11-526-X, Government of Canada, Ottawa, ON. Available at <http://www.statcan.gc.ca/pub/11-526-x/11-526-x2011001-eng.pdf>
- Statistics Canada (2009) *Survey of Drinking Water Plants: 2005-2007*. Catalogue no: 16-403-X, Government of Canada, Ottawa, ON. Available at http://www.gov.mb.ca/waterstewardship/licensing/wlb/pdf/water_statistics/sc_survey_of_drinking_water_plants_2005_2007.pdf
- Statistics Canada (2010) *Human Activity and the Environment: Freshwater Supply and Demand in Canada*. Catalogue no: 16-201-X, Government of Canada, Ottawa, ON. Available at http://www.gov.mb.ca/waterstewardship/licensing/wlb/pdf/water_statistics/sc_human_activity_and_the_environment_2010_freshwater_supply_and_demand_in_canada.pdf
- Statistics Canada (2011) *Households and the Environment*. Catalogue no: 11-526-X, Government of Canada, Ottawa, ON. Available at <http://www.statcan.gc.ca/pub/11-526-x/11-526-x2013001-eng.pdf>
- Statistics Canada (2014) *CANSIM – Canadian Socioeconomic Database*, Government of Canada, Ottawa, ON. Available at <http://www5.statcan.gc.ca/cansim/home-accueil?lang=eng>
- TRCA and ESSA, Toronto and Region Conservation and ESSA Technologies (2012) *Mainstreaming Climate Change Adaptation in Canadian Water Resource Management: The state of practice and strategic directions for action*. Toronto, ON. ISBN: 978-0-9811107/7/6. Available at http://waterandclimate.ca/WP/wp-content/uploads/2012/11/MainstreamReport_FINAL_FORMATTED_Nov17.pdf
- Wilson, J., Aramini, J., Clarke, S., Novotny, M., Quist, M., Keegan, V. (2009) *Retrospective Surveillance for Drinking Water-Related Illnesses in Canada, 1993-2008*. Final Report, Novometrix Research Inc. Available at http://www.nceh.ca/sites/default/files/DW_Illnesses_Surveillance_Aug_2009.pdf
- Young, L. (2012) First Nations enduring decade-old boil water advisories. January 20, 2012, Global News. Available at <http://globalnews.ca/news/202047/first-nations-enduring-decade-old-boil-water-advisories/>



Toronto

“Manejo exitoso del agua, una experiencia para tomar en cuenta”

Gestión del agua en zonas urbanas: Estudio de caso de la ciudad de Toronto

Michael D'Andrea

1. Introducción

La ciudad de Toronto, con una población de 2.8 millones de habitantes, es la más grande de Canadá, y se encuentra situada al norte del Lago Ontario, uno de los cinco Grandes Lagos de Norteamérica. Toronto es la capital de la provincia de Ontario (una de las 10 provincias de Canadá), y sus fronteras se extienden a lo largo de un área de 640 kilómetros cuadrados que abarcan seis cuencas que se extienden, a excepción de una de ellas, más allá de los límites municipales de la ciudad. La ciudad cuenta con once playas, ocho de las cuales han sido premiadas con el galardón internacional Bandera Azul por cumplir con los altos estándares de calidad del agua en playas, establecidos por la provincia de Ontario (Ontario, 1994) la mayor parte del verano.

Agua de Toronto (Toronto Water) es un departamento del Gobierno municipal de la ciudad de Toronto que se encarga del suministro de agua potable segura y confiable, la recolección y tratamiento de aguas residuales y la gestión de aguas pluviales. Es el mayor proveedor de servicios municipales de agua potable y tratamiento de aguas residuales de Canadá. El departamento se estableció tras la fusión del anterior Gobierno regional metropolitano de Toronto en 1998 con seis antiguos municipios locales. Previo a esta fusión, el Gobierno regional se encargaba del tratamiento y transmisión de agua para consumo humano, la red de alcantarillado y el tratamiento de aguas residuales. Los municipios locales se encargaban de los sistemas de distribución de agua locales y la red de alcantarillado. Esta estructura de gobernanza de dos niveles para la gestión del agua en zonas urbanas es característica de Canadá. Sin embargo, además de Agua de Toronto, los Servicios de Agua de Calgary y Halifax (una empresa de servicios públicos propiedad de la Comisión Regional de Agua de Halifax y operada por la misma, y que es la única empresa de agua de propiedad pública de Canadá) existen otros ejemplos de municipios canadienses que han adoptado las mejores prácticas de un planteamiento integrado sobre la gestión del agua en zonas urbanas. La integración de todas las operaciones relacionadas con el agua bajo

una sola entidad organizativa garantiza que el limitado financiamiento del que se dispone se distribuya de forma proporcional en todas las áreas de servicio (agua potable, aguas residuales y aguas pluviales) de manera que éstas puedan cumplir con los requerimientos diarios de operación y, al mismo tiempo, garantiza las inversiones de capital necesarias para atender las prioridades competitivas de renovación de infraestructura, los requerimientos de servicios por crecimiento urbano, el aumento de requisitos normativos, la protección del medio ambiente y la adaptación al cambio climático.

En Toronto, los ingresos obtenidos como resultado del consumo medido de agua sustentan los gastos de operación y la inversión anual de Agua de Toronto. Ésta opera y mantiene una infraestructura valuada en más de \$28 mil millones de dólares canadienses, en la que se incluyen cuatro plantas depuradoras de aguas residuales, cuatro plantas de tratamiento, cerca de 6 mil kilómetros de transmisión y tubería, y más de 10 mil 400 kilómetros de alcantarillado.

2. Gestión

Desde la perspectiva de la gestión del agua es importante identificar el marco regulatorio y legislativo en el que operan los sistemas de agua de los gobiernos municipales de la provincia de Ontario. Esta última, a través de la legislación, regula el abastecimiento de agua potable segura y confiable y también se ocupa de la recolección y tratamiento de las aguas residuales. La Ley de Recursos Hídricos de Ontario (Ontario, 1990a) es posiblemente la más importante en cuanto a protección de la calidad y cantidad tanto de aguas superficiales como subterráneas, además de que también regula el abastecimiento de agua, los vertidos de aguas residuales de plantas de tratamiento municipales, el manejo de aguas pluviales y los desbordamientos del alcantarillado combinado y las plantas de tratamiento. Además de esta Ley, también existe la Ley de Protección del Medio Ambiente de Ontario (Ontario, 1990b) que prohíbe la descarga de contaminantes al medio ambiente, salvo que se obtenga una aprobación de Cumplimiento Ambiental que especifique los límites de flujo y concentración permitidos. Estos límites de descarga han sido establecidos de forma general, tomando en cuenta los Objetivos de Calidad del Agua de la Pro-

vincia (Ontario, 1994) que se establecieron con objeto de proteger la vida acuática y el uso del agua en actividades recreativas, cuya premisa es la protección de la salud pública.

Las condiciones más estrictas en cuanto a la regulación de descargas de efluentes de aguas residuales han sido establecidas en la Ley de Pesca de Canadá (1985), la cual prohíbe la descarga de sustancias nocivas que pudieran degradar o alterar la calidad del agua a tal punto que resultara perjudicial para los peces o su hábitat. Hace poco se publicó el Reglamento de Sistemas de Aguas Residuales y Calidad de Efluentes (2012) regulado por la Ley de Pesca, que se refiere específicamente a los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales y que establece estrictos límites en cuanto a la calidad del efluente, ya que la provincia de Ontario no había cubierto este punto antes, y también incluye las pautas a seguir en la presentación de informes anuales sobre vertidos por desbordamiento de alcantarillado combinado.

En Ontario, todos los trabajos de modernización o nuevos proyectos de sistemas de aguas municipales, aguas residuales y pluviales deben cumplir con las condiciones establecidas en las leyes básicas de planificación ambiental de la provincia de Ontario: Ley de Evaluación Ambiental (Ontario, 1990c). Esta ley establece el procedimiento que debe seguirse tras analizar las opciones existentes para este tipo de proyectos y mediante la realización de consulta pública. Las opciones bajo consideración se evalúan con base en los impactos ecológicos, sociales, culturales y económicos que tendrán y, a partir de este proceso, se selecciona la opción que se determinó poner en práctica. La Asociación de Ingenieros Municipales (2011) elaboró un documento de orientación que ofrece un método comprobado para la toma de decisiones en diversas clases de proyectos (en función de sus características e importancia) de conformidad con las disposiciones establecidas en la Ley de Evaluación Ambiental.

Una pieza fundamental de la legislación que regula la planificación de las cuencas hidrográficas es la Ley de Autoridades de Conservación de la Provincia de Ontario (Ontario, 1990d). La Ley fue introducida por primera vez en 1946 con la finalidad de hacer posible que la provincia y los municipios pudieran unirse para conformar una autoridad de conservación dentro de un área geográfica específica de la

cuenca, a fin de administrar los recursos de la cuenca de la provincia y proteger las vidas y propiedades contra inundaciones y erosión. En 1956, a raíz de los devastadores efectos del Huracán Hazel en 1954, en donde 81 personas perdieron la vida, varios miles quedaron sin hogar y las enormes pérdidas económicas se asociaron con los extensos daños causados a las propiedades públicas y privadas en el área de Toronto, se introdujeron modificaciones a la Ley. Estas facultaron a las Autoridades de Conservación a prohibir el relleno de las tierras del valle y las llanuras de inundación, a poner en marcha una adecuada planificación del uso del suelo que prohibiera el desarrollo urbano en zonas en riesgo de inundación como lo son las llanuras de inundación, así como la realización de obras de protección contra inundaciones, como presas, depósitos de agua, canales de control de inundaciones y control de la erosión.

En 2002, tras la contaminación del sistema de agua potable municipal de la pequeña ciudad de Walkerton, Ontario, ubicada al noroeste de la ciudad de Toronto, que resultó en la trágica muerte de siete personas y en donde más de otras 2 mil 300 se enfermaron debido al agua contaminada, la provincia de Ontario aprobó la Ley de Agua Potable Segura (Ontario, 2002). El principal objetivo de esta Ley es proteger la salud humana mediante el control y regulación de los sistemas de agua potable, e incluye condiciones específicas en cuanto a la capacitación de los operadores y normas para la realización de pruebas, además de la presentación de informes de calidad. Las licencias para operar sistemas de agua potable se otorgan siempre y cuando se presente evidencia de contar con planes de financiamiento sostenibles para su operación. Los planes financieros, que deben ser aprobados por el ayuntamiento municipal, deben demostrar su sostenibilidad financiera tanto para las operaciones de la empresa como para sus inversiones de capital a largo plazo que les permitirán cumplir con las disposiciones reglamentarias, las necesidades de crecimiento urbano y la renovación de la propia infraestructura. El Plan Financiero del Sistema de Agua de Toronto Water 2010-2015 también clasifica las fuentes de financiamiento destinadas a proyectos de inversión para infraestructura (Toronto, 2010).

Adicionalmente a la Ley de Agua Potable, la provincia de Ontario promulgó la Ley de Agua Limpia (Ontario, 2006) para proteger el agua potable mediante la adopción de un enfoque de controles múl-

tiples para impedir la entrada de contaminantes a las fuentes de agua potable: aguas subterráneas y superficiales. La Ley de Agua Limpia demanda que se establezcan Comités de Protección de Fuentes integrados por diversos actores que incluyan a las agencias municipales de abastecimiento de agua, a las autoridades de conservación de la zona y a los sectores industriales involucrados, como el agrícola y el desarrollo de la tierra. Las principales funciones de los Comités serán la evaluación de las amenazas actuales y probables en cuanto a la cantidad y calidad de las fuentes de agua potable, así como el diseño de acciones dirigidas a reducir o eliminar estas amenazas, en la forma de Planes de Protección de las Fuentes, desarrollados a partir de una extensa consulta ciudadana. Hace poco se formuló un Plan integral de Protección de las Fuentes (CTC, 2014) que contempla un área de más de 10 mil kilómetros cuadrados alrededor de la ciudad de Toronto, cuyo objetivo es proteger 66 pozos de abastecimiento de agua subterránea municipales y 16 tomas municipales de aguas superficiales en el lago Ontario, incluyendo las cuatro tomas de la ciudad de Toronto. El Plan está en espera de ser aprobado por la provincia de Ontario. El desarrollo de este Plan requirió la realización de una evaluación técnica de las fuentes de agua municipales actuales para identificar las zonas vulnerables, así como las amenazas actuales y futuras en cuanto a calidad y cantidad del agua que pudieran perjudicar la sostenibilidad a largo plazo del recurso. El Plan incluye políticas que abordan las amenazas importantes al agua potable para garantizar la protección de estas fuentes e identifica a las autoridades encargadas de poner en práctica las acciones necesarias.

Con objeto de contribuir a apoyar el financiamiento para la infraestructura municipal nueva o trabajos de renovación, incluyendo los sistemas de agua, aguas residuales y aguas pluviales necesarios para dar servicio a un nuevo crecimiento urbano, la Ley de Fondos para el Desarrollo (Development Charges Act) de la provincia de Ontario (Ontario, 1997) prevé la recaudación de fondos para desarrollo con objeto de contribuir a cubrir los costos relacionados con el desarrollo por crecimiento urbano. Dichos costos en el lugar de la obra serán responsabilidad del contratista. La Ley exige que se presente una proyección financiera que cubra un periodo de diez años y garantice el capital necesario para requerimientos o trabajos de renovación durante este periodo, mis-

mo que servirá como base para el cálculo del gasto. Los fondos recaudados por los municipios a través de esta Ley han contribuido de forma importante en las mejoras y ampliaciones de los sistemas de agua en la provincia de Ontario. En Toronto, los fondos recaudados a través de la Ley de Fondos para el Desarrollo han desempeñado un importante papel en el desarrollo de proyectos de inversión para infraestructura de Agua de Toronto, los que a su vez contribuyen en la prestación del servicio de un futuro crecimiento urbano, como se puede apreciar en el Plan Financiero del Sistema de Agua de Toronto Water (Toronto, 2010).

3. Déficit de infraestructura / necesidades de renovación

Las necesidades de renovación de infraestructura de agua, aguas residuales y aguas pluviales para los municipios más antiguos es un problema reconocido en Norteamérica. La construcción de esta infraestructura generalmente se ha realizado ante los ciclos de desarrollo urbano, y gran parte de ella ahora se encuentra prácticamente al final de su vida útil. El análisis se realizó por tipos de activos: tuberías, red de alcantarillado, plantas de tratamiento de agua y plantas de depuración de aguas residuales.

Se calculó que el costo de renovación del sistema de distribución de agua de la ciudad de Toronto, que consta de un total de 5 mil 850 kilómetros de tubería, es de \$5 mil millones de dólares canadienses. La Figura 1 muestra la construcción, en bloques de diez años, del sistema de distribución de agua, que data de la década de 1850. La figura evidencia que el sistema se ha ampliado después de los ciclos de desarrollo urbano en Norteamérica de finales de 1800, principios de 1900 y los principales ciclos de crecimiento de los años 1950, 1960 y 1970. La edad promedio del sistema se estimó en poco más de 50 años y se considera que aquellos puntos en donde se calculó, donde más de 20% del sistema se construyó hace 80 años o más, ya han cumplido con su ciclo de vida útil para este tipo de activo.

Figura 1. Historia de la Construcción de Infraestructura de Tubería en la Ciudad de Toronto (Toronto, 2008)

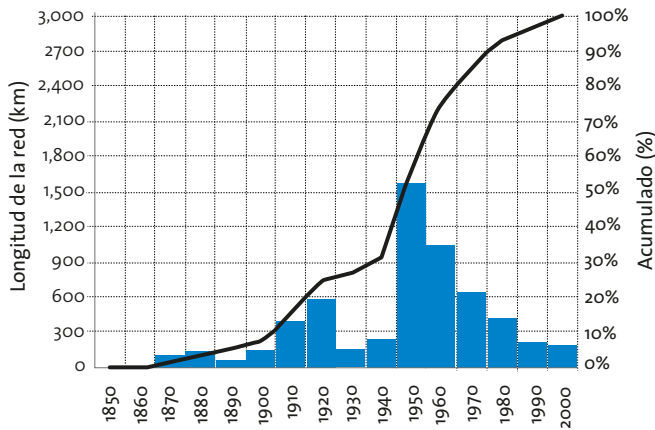
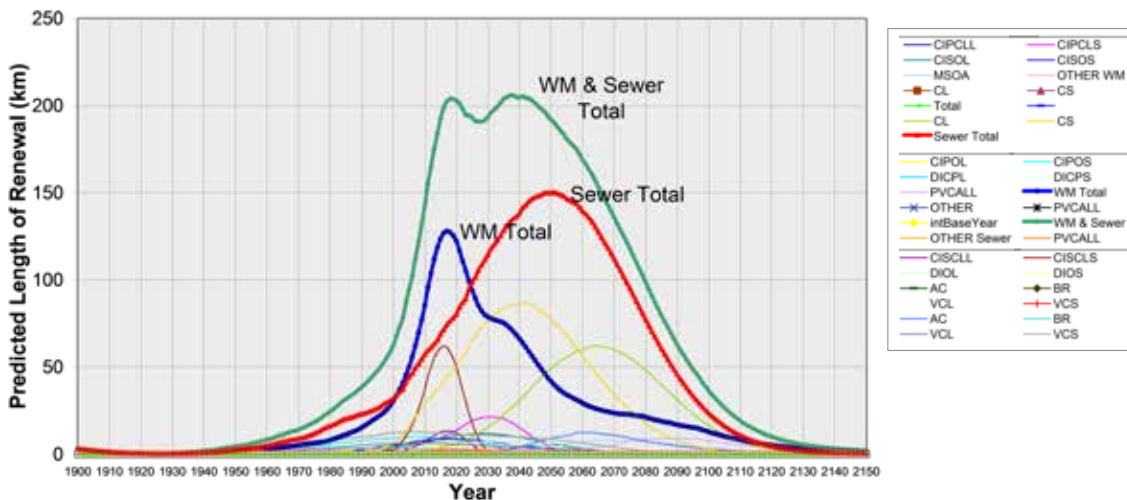


Figura 2. Longitud de Renovación Anual por Año Prevista

- a) Tuberías principales línea azul (WM, siglas en inglés); b) Alcantarillado línea roja
- c) Tuberías e infraestructura de alcantarillado total línea verde (Toronto, 2008a)



Por el contrario, el cálculo del costo de renovación de la red de alcantarillado, que consta de 10 mil 600 kilómetros de tubería, es de \$13.3 mil millones de dólares canadienses. Aunque el crecimiento de este sistema muestra ciclos de construcción similares a los de las tuberías, algunas de las alcantarillas de la ciudad datan de principios de la década de 1800 y, debido a que el alcantarillado combinado se construyó ya entrada la década de 1950, es difícil determinar la edad de todo el sistema porque tanto los alcantarillados pluviales como los sanitarios se construyeron posteriormente y, en consecuencia, la edad general de esta clase de infraestructura es un poco más reciente que la de las tuberías, manejándose un promedio aproximado de 50 años; se estimó que 11% del sistema se construyó hace 80 años o más.

Con objeto de poder contribuir a evaluar el atraso de los trabajos de renovación de la infraestructura, así como las necesidades futuras de renovación, se utilizó el modelo KANEW de la Fundación de Investigación del Agua (Deb *et al.*, 1998). El modelo KANEW ofrece una metodología en conjunto con programas informáticos para la predicción de tasas de “supervivencia” de cohortes de esta clase de activos. Las cohortes se establecieron con base en factores como el tipo de tubería, la edad y los materiales. Se estableció un total de 12 y 8 cohortes para los activos de tubería y alcantarillado, respectivamente (Toronto, 2008a). Se solicitó al modelo generar predicciones de las necesidades anuales de renovación de infraestructura. La Figura 2 presenta un resumen de los resultados que muestra las tasas anuales de renovación de cada cohorte, todas las tuberías, todas las alcantarillas y todos los conductos (acueducto y alcantarillado combinados).

Mediante este método se estimó que el atraso en trabajos de renovación de la infraestructura de tubería y alcantarillado es de 760 kilómetros y 1 mil 35 kilómetros, respectivamente, lo que equivale a una renovación total –entendida como la sustitución y rehabilitación utilizando la tecnología de revestimiento estructural sin zanjas– con un valor de \$1.3 mil millones de dólares canadienses, que representa aproximadamente 10% del valor de reposición de los activos. No obstante, si no se asignan fondos para efectuar trabajos de renovación de estructura, cada año se suma al rezago de trabajos pendientes. Con base en el análisis KANEW, se estima que 70 a 130 kilómetros (es decir, 1.2 a 2 por ciento) y 50 a 70 kilómetros (0.5 a 0.7 por ciento) de tuberías y alcantarilla-

do, respectivamente, estarán llegando al final de su vida útil y requerirán de trabajos de renovación cada año para evitar que aumente el rezago. En conjunto, esto representa una inversión anual de un estimado de \$110 millones de dólares canadienses e incluye la sustitución de tuberías y tecnologías sin zanjas, y la inserción de revestimientos estructurales –ejemplos de esta tecnología se pueden encontrar en D’Andrea, 2013. El uso de esta tecnología puede reducir los costos y molestias derivadas de la obra en la comunidad.

Para hacer frente a estas necesidades y al rezago en cuanto a la renovación de infraestructura de las cuatro plantas secundarias de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Toronto –con una capacidad combinada de tratamiento de 1.5 mil millones de litros por día– y cuatro plantas de tratamiento –con una capacidad de tratamiento conjunta de más de 2.7 mil millones de litros por día–, se desarrolló un plan de renovación de infraestructura a largo plazo que se actualiza una vez al año y forma parte del presupuesto anual de inversión de Agua de Toronto.

4. Prestación del servicio a crecimientos futuros (plan de uso eficiente del agua)

El innovador Plan de Uso Eficiente del Agua de Toronto (Toronto, 2002), aprobado por el Ayuntamiento en 2003, se enfocó a reducir el consumo de agua en toda la ciudad para desarrollar la “capacidad” suficiente en el sistema para satisfacer las necesidades del crecimiento proyectado en población y empleos a corto plazo –se espera un aumento de 10 a 12% en 2011. La forma convencional de abordar este problema era aumentando la infraestructura de tratamiento y abastecimiento del agua que debía abastecer los flujos de demanda diaria máxima durante los meses de verano para el uso del agua al aire libre –por ejemplo, el riego de jardines–, y la infraestructura de recolección y tratamiento de aguas residuales para asistir con sus flujos adicionales generados.

La Figura 3 presenta el perfil de consumo de agua anual típico de la ciudad de Toronto en 2001, con un consumo medio estimado de 1.260 ML/día y el suministro a la Región York (un municipio regional al norte de Toronto), con una demanda media

anual adicional estimada en 230 ML/día. La figura muestra una demanda máxima diaria combinada de 2,210 ML/día, encontrándose muy cerca de la capacidad de transmisión del sistema. La demanda diaria máxima de Toronto representó un aumento estimado de 60% al consumo base de 1,155 ML/día en 2001 –de octubre a abril.

Algunos de los objetivos del Plan de Uso Eficiente del Agua fueron: reducir el consumo total de agua en 15%, a través de la implementación de accesorios más eficientes y medidas que abarcaron a toda la ciudad; crear la capacidad suficiente en la infraestructura existente y de esta manera posponer los costos de expansión de infraestructura al mismo tiempo que se disminuyeron el consumo de energía para propósitos de bombeo y las correspondientes emisiones de CO₂, el uso de químicos en las plantas de tratamiento de agua y aguas residuales y los vertidos de efluentes de las plantas de tratamiento. La premisa fundamental del Plan se basa en el cambio en el comportamiento del consumidor y en convencer a la gente a adquirir e implementar accesorios de ahorro de agua, así como a tomar medidas de aprovechamiento del agua a través de incentivos financieros. Los incentivos financieros específicos se derivaron con base en el “principio de capacidad de recompra”, en el que el valor del incentivo previsto era menor que el costo que representaba construir la infraestructura equivalente: éste fue, generalmente, de un tercio del costo.

Al momento del desarrollo del Plan, el consumo de agua utilizada en inodoros y lavado de ropa representó casi 30 y 22% del consumo promedio de agua

en interiores, respectivamente (Toronto, 2002). Si bien el Código de Construcción de Ontario ordenó el uso de inodoros de bajo consumo en la construcción de nuevas viviendas, los inodoros de alto consumo continuaban vendiéndose (13 litros) a precios más bajos que sus contrapartes de 6 litros y los inodoros de doble descarga. Con objeto de contribuir al éxito del Programa de Descuento en Inodoros, que era uno de los pilares del Plan, y para hacer frente a las críticas generadas por la primera generación de inodoros de bajo consumo de agua, que a menudo requerían de varias descargas para expulsar los sólidos, los descuentos se ofrecieron en la compra de inodoros específicos que cumplían con los requisitos de eliminación de sólidos mínimos aceptables de Toronto, basado en el rendimiento máximo (MaP) según el protocolo de pruebas de inodoros (Alianza para el Uso Eficiente del Agua, 2014).

La aplicación del Plan se estimó en \$74 millones de dólares y significó el ahorro de un tercio del estimado de \$220 millones de dólares canadienses que se requería para el equivalente en ampliación de infraestructura de agua y aguas residuales (Toronto, 2003).

Se identificó una serie de medidas orientadas a la conservación/eficiencia del agua para su puesta en práctica en el “sector consumidor de agua” –residencial unifamiliar, residencial multifamiliar, industrial/comercial/institucional y municipal–, y se incluyeron las fugas en el sistema de tuberías y su reducción; también, la sustitución de inodoros (a los de bajo consumo, de 6 litros o menos por descarga), el programa de capacidad de recompra industrial/institucional/comercial, auditorías de agua en espacios abiertos, riego controlado por computadora y educación pública e integración comunitaria.

Los detalles relativos a la metodología y los beneficios del sector en cuanto a incentivos financieros específicos se encuentran establecidos en el Plan de Uso Eficiente del Agua (Toronto, 2002), que además establece un plan de implementación y seguimiento. También se realizó una evaluación de pérdida de agua y un estudio de detección de fugas para apoyar el desarrollo del Plan. El estudio reveló que las pérdidas de agua se encontraban en el orden de ocho a diez por ciento de los totales de producción, estimados en un valor anual de \$30 millones de dólares canadienses por costos de tratamiento y transmisión. Mediante el uso de la metodología de auditoría de la Asociación Internacional del Agua (IWA, por sus

Figura 3. Consumo Diario de Agua en 2001 (ML/d) - (Toronto, 2002)

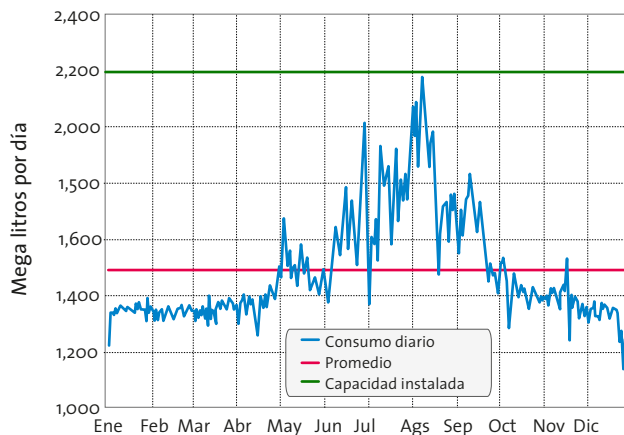


Figura 4. Comparación del Índice de Pérdidas de Infraestructura entre Norteamérica e Internacional (Toronto, 2011a)

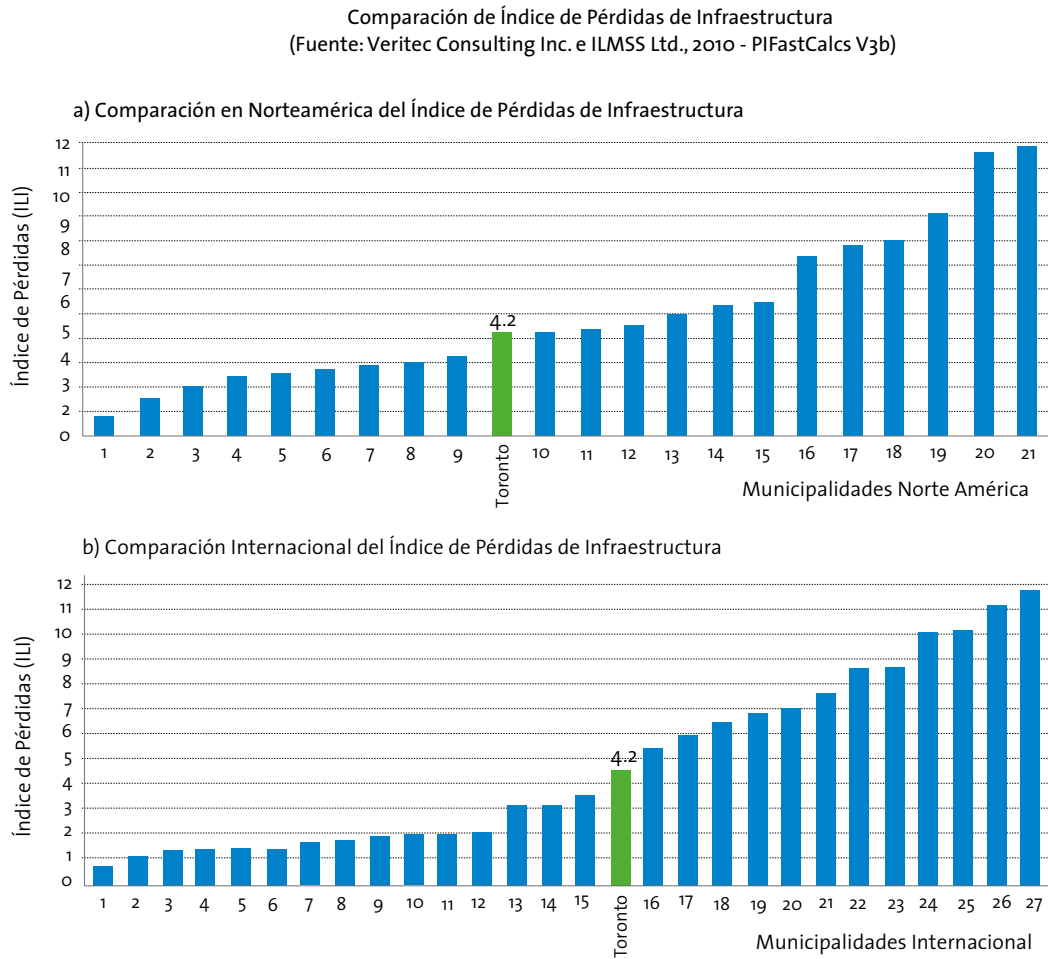
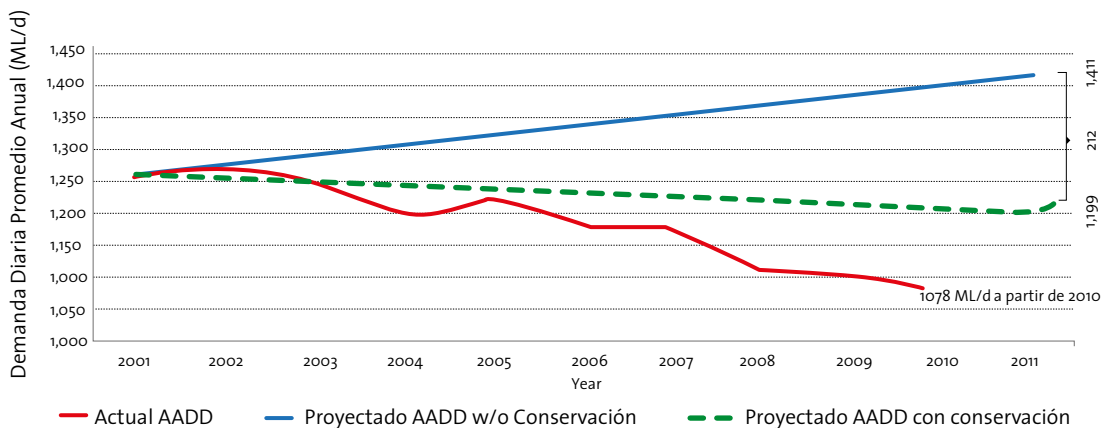


Figura 5. Demandas de Agua de Toronto: Proyecciones del Plan de Uso Eficiente del Agua y datos reales, millones de litros por día (Toronto, 2011a)



siglas en inglés) y del índice de pérdidas de infraestructura (ILI, por sus siglas en inglés), reconocidos como medidas de rendimiento internacional mediante las cuales las empresas responsables del agua evalúan objetivamente el nivel de pérdida de ésta (AwwaRF, 2007), se encontró que la ciudad de Toronto mostraba un índice de pérdidas de infraestructura de 4.2. Tal como se muestra en la Figura 4, los resultados de la ciudad de Toronto se ubican en un punto medio si se les compara con los municipios de Norteamérica y el resto del mundo, respectivamente. De manera adicional, el estudio mostró que un índice de pérdidas de infraestructura de 2.5 es económicamente admisible para Toronto y que se podía lograr una reducción de fugas de aproximadamente 49 millones de litros por día, representando un estimado de \$15.8 millones en costos de tratamiento y transmisión. Con objeto de impulsar esta iniciativa,

la ciudad de Toronto ha desarrollado un Programa de Reducción de Pérdidas y Detección de Fugas que contempla varios aspectos y que se encuentra actualmente en etapa de implementación en toda la ciudad (Toronto, 2011a).

Se analizaron las demandas de agua, cuantificadas como demanda diaria promedio anual (AADD, por sus siglas en inglés) de Toronto, y se compararon con las reducciones previstas por la implementación del Plan de Uso Eficiente del Agua y los aumentos proyectados por crecimiento urbano sin la conservación del agua, y los datos pueden observarse en la Figura 5. Como ya se ha señalado, las reducciones reales de consumo de agua han superado las proyecciones originales del Plan de Uso Eficiente del Agua, con una caída en el consumo en 2010 de 14% en comparación con los niveles de 2001, a pesar del aumento en crecimiento demográfico estimado de 52 mil habitantes para este período.

Mientras que una serie de factores han contribuido a que el consumo de agua haya sido inferior al esperado, incluyendo factores como los aumentos en las tasas de agua anuales implementados con objeto de recaudar fondos para el enérgico programa de renovación que se describe a continuación, no debe dejar de reconocerse la eficacia de la aplicación del Plan. Se ofrecieron más de 410 mil incentivos financieros (más de 350 mil descuentos para inodoros y más de 60 mil descuentos para lavadoras de ropa de carga frontal de alto rendimiento) por un costo de \$37 millones de dólares canadienses, logrando una reducción en el consumo de agua estimada en más de 81 millones de litros por día, con un costo estimado de \$91 millones para ampliación de infraestructura basado en costos unitarios obtenidos cuando se aprobó el Plan. Sin embargo, con base en el aumento de los costos de construcción, este costo se reevaluó a un estimado de \$180 millones de dólares canadienses (Toronto, 2011a), lo que representa aproximadamente 480% del valor de los incentivos financieros. Debido al éxito del programa, los cambios en las condiciones del mercado, en donde la venta y promoción de los accesorios y electrodomésticos para un uso eficiente del agua ya se convirtió en una práctica común y corriente, así como el aumento de concientización de la gente y las medidas de apoyo a la conservación del agua, en 2011 se suspendieron la mayoría de los programas, en especial los que ofrecían incentivos financieros a los consumidores (Toronto, 2011a).

Figura 6. Crecimiento Demográfico y Consumo de Agua: 1980 a 2013
(Toronto, 2013a).

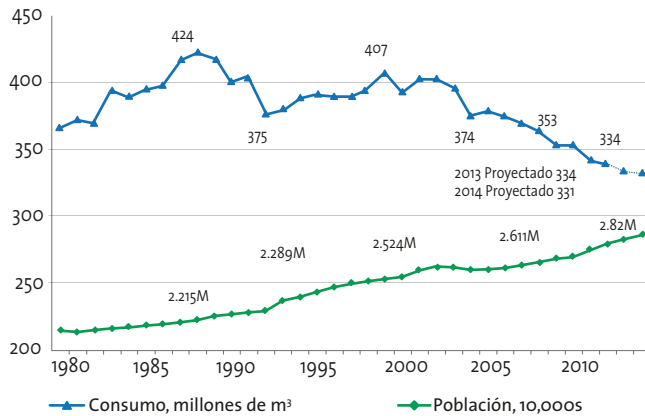


Figura 7. Promedio de Demanda Residencial por Persona
(Toronto, 2012)

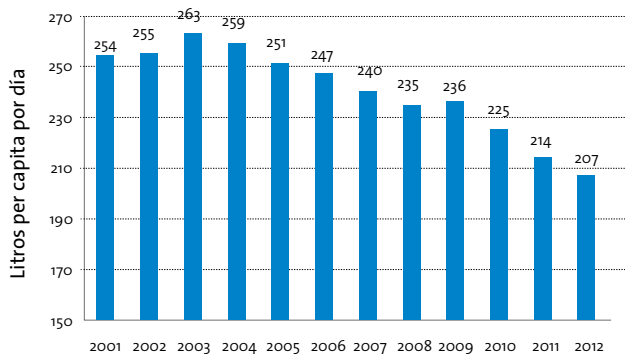


Figura 8. Concentraciones promedio de constituyentes por evento en alcantarillado pluvial y vertidos por desbordamiento de alcantarillado combinado (D'Andrea *et al.*, 2004a)

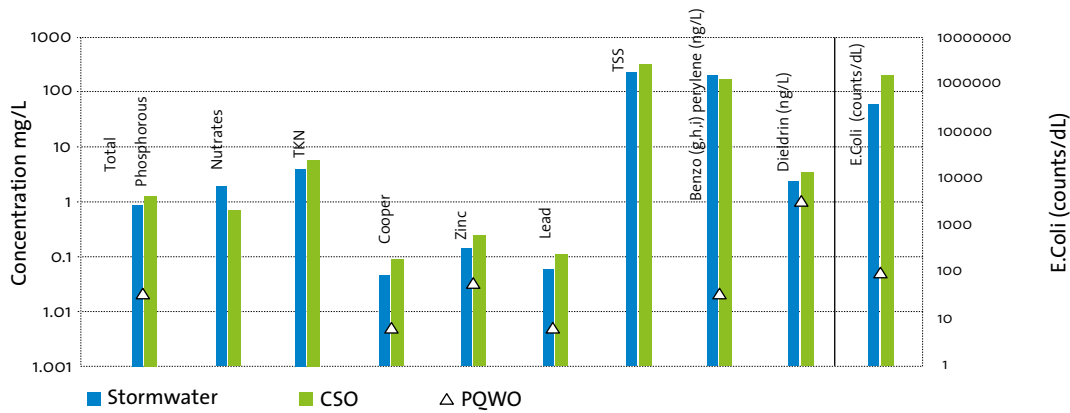
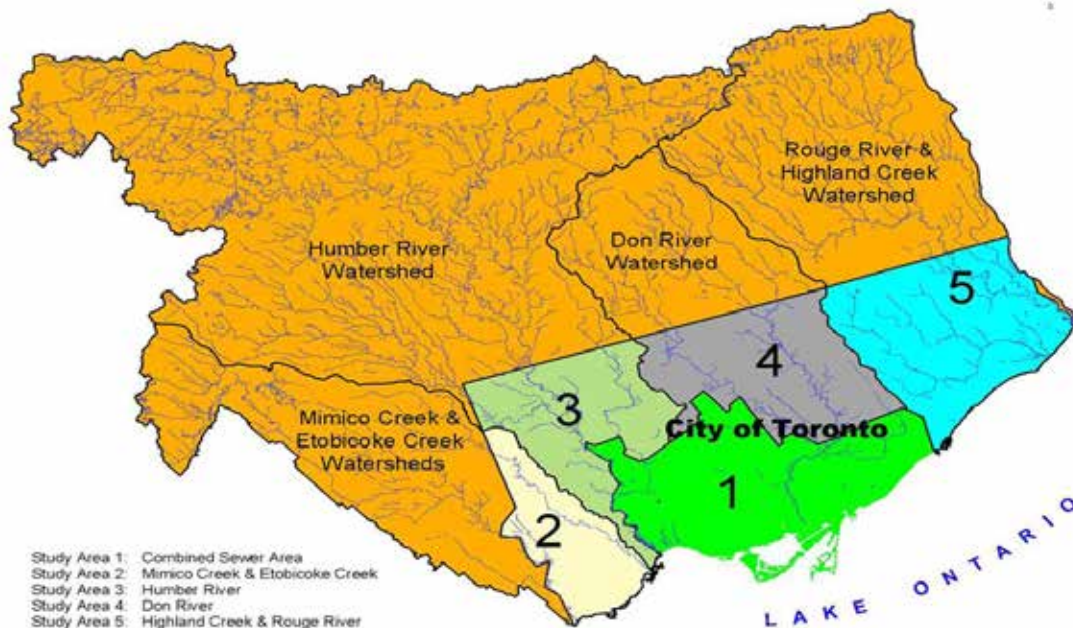


Figura 9. Área de estudio de la ciudad de Toronto para el Plan Maestro de Flujo de Clima Húmedo (D'Andrea *et al.*, 2004a)



Un resumen reciente (Toronto, 2013A) revela una tendencia más dramática y persistente en la que, a pesar del importante crecimiento demográfico de casi 3% (217 mil habitantes) experimentado entre 2005 y 2013, el consumo de agua de hecho ha descendido aproximadamente 12% durante este mismo período, como se muestra en la Figura 6.

Más aún, se ha continuado observando un descenso sostenido en el consumo de base promedio residencial per cápita (no en verano) de alrededor de 2% por año en los últimos diez, como se muestra en

la Figura 7. De acuerdo con esta tendencia, se espera que el consumo promedio por habitante descienda a cerca de 150 litros per cápita al año para 2025.

Del mismo modo, el consumo máximo de agua por día anual asociado con el uso de agua en exteriores, principalmente en riego de jardines, también ha disminuido de manera constante a un estimado de 1 mil 420 millones de litros por día en 2010, cifra por debajo de 24% del consumo máximo estimado de 1 mil 850 millones de litros por día en 2001 (Toronto, 2011a).

No obstante que las reducciones en el consumo han sido extremadamente satisfactorias, esto ha resultado en un profundo impacto negativo en los ingresos que afectan los planes de renovación de infraestructura a largo plazo de Agua de Toronto, así como a los pronósticos de tarifas de agua. Esto se analiza con mayor detalle a continuación.

5. Manejo del impacto ocasionado por los escurrimientos urbanos (Plan Maestro para Flujo de Clima Húmedo)

El desarrollo urbano de la ciudad de Toronto y sus alrededores ha impuesto severas demandas al ecosistema que han dado lugar a la alteración del medio ambiente natural y el ciclo hidrológico, afectando negativamente los flujos de clima húmedo. En Toronto, esto se traduce también en un aumento de escurrimientos de aguas pluviales y descargas de drenaje pluvial, desbordamientos de alcantarillado combinado (OSC) de la red de alcantarillado combinada que abarca alrededor de 25 por ciento de la ciudad, y la infiltración y flujo entrante al sistema de alcantarillado sanitario, haciendo necesaria la instalación de válvulas de desvío en las plantas de tratamiento de aguas residuales, lo que dio lugar al deterioro de la calidad del agua en los cursos de la zona y la costa del Lago Ontario. Los impactos de estos flujos pluviales han contribuido a que Toronto se conozca como una de las 43 áreas contaminadas que son motivo de preocupación en la cuenca de los Grandes Lagos (Environment Canada *et. al.*, 1989). No obstante que las medidas de reducción de contaminación del agua más recientes se centraron en las fuentes de contaminación de las que se tiene conocimiento como lo son los vertidos por desbordamiento de alcantarillado combinado, se ha identificado que los vertidos de aguas pluviales en zonas urbanas también son fuentes de contaminación importantes. En Toronto, los extensos estudios realizados sobre estas descargas revelaron que las concentraciones medias por evento de descarga de alcantarillado pluvial eran comparables a los vertidos por desbordamiento de alcanta-

rillado combinado (Figura 8). Como se muestra en la Figura 8, si se compara con los Objetivos de Calidad del Agua de la provincia (PWQOs, por sus siglas en inglés), las concentraciones de constituyentes en la calidad del agua en estas descargas es normalmente de dos a cuatro órdenes de magnitud mayor; y para las bacterias *E. coli*, que se utilizan como estándar de calidad de agua en playas en Ontario, estas descargas son normalmente de tres a cuatro órdenes de magnitud que aquellas establecidas en los Objetivos de Calidad de Agua de la provincia en un conteo de 100 por decilitro.

Además, más recientemente, con el aumento de la frecuencia de eventos de lluvias intensas que exceden la capacidad de diseño del sistema de alcantarillado de la ciudad (por lo general durante los meses de verano que se caracterizan por tormentas intensas pero de poca duración), los sobrecargados sistemas de drenaje resultan en atascamientos en la red de alcantarillado e inundaciones en los sótanos (la mayoría de las viviendas en Toronto cuentan con sótanos que ofrecen más espacio de vivienda generalmente equipados con drenaje de piso conectado a la red de alcantarillado).

En la provincia de Ontario, una de las condiciones para autorizar los nuevos desarrollos urbanos es que deben contemplar planes de gestión de aguas pluviales, de conformidad con el Manual de Diseño y Planificación de Gestión de Aguas Pluviales (Ontario, 2003). A falta de una regulación para hacer frente a los efectos negativos de los flujos de clima húmedo en zonas urbanas existentes, las iniciativas de flujo de clima húmedo en Toronto anteriores fueron impulsadas, en gran parte, por la necesidad de resolver problemas localizados de inundaciones e impactos en la calidad del agua de playas recreativas. Aunque se habían considerado opciones de control de las fuentes, los problemas se habían abordado normalmente a partir de la infraestructura física y soluciones “a final de tubo”.

Aunque estas acciones fueron trascendentes y lograron mejoras ambientales locales, se determinó la necesidad de desarrollar una estrategia integral basada en las cuencas para la ciudad. Esto dio lugar al desarrollo del Plan Maestro de Flujos de Clima Húmedo de la ciudad de Toronto que aprobó el Ayuntamiento en 2003. De acuerdo con los principios de planificación de la Ley de Evaluación Ambiental de la provincia de Ontario (Ontario, 1990c), y con la fi-

nalidad de cumplir con el proceso del Plan Maestro definido en la Asociación de Ingenieros Municipales (2011), el Plan se centró en la consecución de objetivos de calidad de agua, tomando en cuenta los Objetivos de Calidad del Agua de la provincia (Ontario, 1994) e incorporando consultas públicas en puntos clave de decisión. Los detalles del desarrollo del Plan, incluyendo la integración de la red de alcantarillado, la circulación de flujos de cuencas y lagos en modelos de simulación computarizados dirigidos a evaluar la eficacia de las diversas opciones para la consecución de los objetivos de calidad del agua han sido descritos en D'Andrea et. al. (2004a y 2004b). El Plan es considerado la mayor iniciativa de planificación de su tipo en Canadá.

En el desarrollo del Plan se adoptó una nueva filosofía que destacó la importancia de controlar los escurrimientos pluviales en la fuente. Además, a partir de la ruta de las aguas pluviales de los terrenos de propiedad individual a las aguas receptoras, se incorporó un enfoque jerárquico al Plan para la gestión de las mismas, que contempló la incorporación de acciones y controles en las fuentes (nivel de lote), seguidos de controles del sistema de transporte y, por último, "a final de tubo". Al mismo tiempo, se desarrolló una Política de Gestión de Flujos de Clima Húmedo como guía para el desarrollo y remodelación de nuevas zonas urbanas y las operaciones y trabajos municipales.

Aunque el área de estudio se centró en un área de 640 km² ubicada dentro de los límites de la ciudad de Toronto, el estudio se amplió para incluir también seis cuencas principales (es decir, todas las cuencas a excepción de una sobrepasan los límites de la ciudad) que atraviesan la ciudad, lo cual representa en realidad un área de 2 mil 100 km² de superficie (Figura 9), continuando con el enfoque de gestión de ecosistemas con base en cuencas (WEF/ASCE, 1998).

Se definieron 13 objetivos que fueron agrupados en cuatro categorías principales en la elaboración del Plan: calidad del agua, cantidad de la misma, áreas naturales y vida silvestre, y sistema de alcantarillado (D'Andrea et. al., 2004b). Se desarrolló una serie de estrategias que incluían un nivel de aplicación variado y combinado de las categorías definidas en la estructura jerárquica de gestión de aguas pluviales: controles en fuentes, transporte y "a final de tubo". Se evaluó la eficacia de las estrategias implementadas con objeto de lograr los objetivos de calidad del

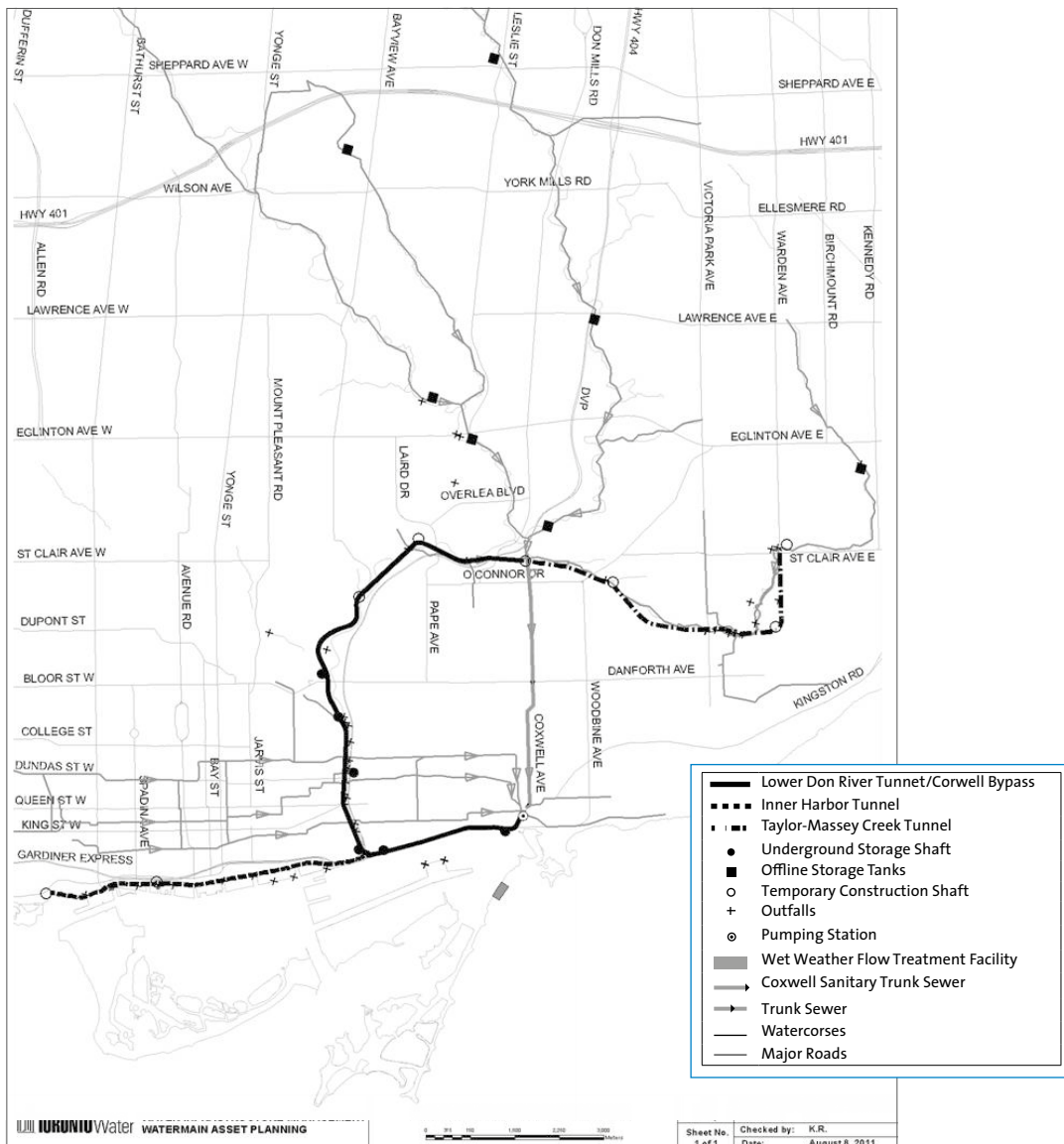
agua definidos con anterioridad mediante modelos de simulación computarizados, y se llevó a cabo un estimado de costos. Después de una extensa consulta pública, se elaboró un Plan de desarrollo de 25 años, basado en la estrategia definida. La aplicación del Plan integral (Toronto, 2003b) se estimó en más de \$1 mil millones de dólares canadienses e incorporó los siguientes puntos: educación pública y proyección comunitaria; mejora de trabajos municipales, incluyendo un programa de remediación de descarga de clima seco, gestión del litoral, controles en las fuentes (que dieron lugar a la desconexión obligatoria de todas las bajadas de agua residenciales y que afectó a un promedio de 350 mil propiedades), controles de transporte (por ejemplo, protección y mejora de los extensos sistemas de surcos de drenaje de la ciudad, y la construcción de sistemas de infiltración cuando sea posible debido a la realización de trabajos de renovación en curso en el antiguo sistema de alcantarillado de la ciudad), controles "a final de tubo" (por ejemplo, la construcción de un estimado de 180 estanques de aguas pluviales en un espacio abierto disponible y sistemas de almacenamiento subterráneos para aguas pluviales y vertidos de alcantarillado combinado en áreas de espacios limitados como el centro de la ciudad) trabajos de protección contra inundaciones en sótanos (cuyo alcance fue ampliado posteriormente y que se describe más adelante en detalle), obras de restauración de corrientes (por ejemplo, utilizando los principios de diseño de los canales naturales siempre que sea posible) y vigilancia ambiental. Como apoyo al Plan, también se desarrolló una Política de Gestión de Flujos de Clima Húmedo para dirigir las acciones y la planificación por parte de la ciudad de problemas de flujo de clima húmedo, sobre todo en lo que respecta a la prestación de servicios y requisitos para áreas de desarrollos nuevos y remodelaciones (Toronto, 2003c). Posteriormente se formuló el Reglamento para Gestión de Flujos de Clima Húmedo para regular los niveles establecidos de cantidad de agua y control de calidad para nuevos desarrollos (Toronto, 2006a). El resumen sobre el avance en la implementación del Plan y las prioridades con una visión a futuro puede consultarse en Toronto, 2011b.

Uno de los proyectos más importantes dentro del Plan es el *Don River and Central Waterfront Project* (Río Don y Zona Costera Central), cuyo objetivo es atender la mayor parte del resto de los vertidos de

alcantarillado combinado de la ciudad, logrando finalmente sacar a Toronto de la lista de áreas que son motivo de preocupación de la cuenca de los Grandes Lagos. Este proyecto utiliza una metodología de “sistemas de integración” dirigidos a atender las necesidades de flujo de clima húmedo identificadas en el Plan, las necesidades de servicios de recolección de aguas residuales a más largo plazo, que contribuyen con el Sistema de Alcantarillado Sanitario Río Don debido al crecimiento de zonas urbanas (el sistema de alcantarillado más grande de la ciudad, que pres-

ta servicio a unos 750 mil habitantes), y a lo largo de la zona costera central, como un proyecto de gran alcance. El sistema completo (Figura 10) incorpora un sistema de 22 kilómetros de túneles profundos, elementos de almacenamiento subterráneos, control en tiempo real para alcantarillado existente y una planta de depuración de alta velocidad para el tratamiento de flujos recolectados (Toronto, 2011b). El proyecto se encuentra en fase de diseño de ingeniería y se espera que los trabajos de construcción comiencen en 2017.

Figura 10. Elementos del Proyecto Río Don y Zona Costera Central (Toronto, 2011b)



6. Adaptación al cambio climático para atender las inundaciones urbanas: Programa de Protección contra Inundaciones en Sótanos

En el desarrollo del Plan Maestro de Flujos de Clima Húmedo se incluyeron acciones y mejoras del sistema para hacer frente a las áreas de la ciudad que habían experimentado atascamientos en el drenaje que resultaron en inundaciones de sótanos. No obstante, no se tomaron en cuenta los impactos de las inundaciones ocasionadas por las cada vez más frecuentes y severas tormentas derivadas del cambio climático.

En agosto de 2005, una fuerte precipitación que generó más de 150 mm de lluvia en un período de dos a tres horas ocasionó que se recibieran más de 4 mil denuncias por inundaciones de sótanos en las zonas más nuevas de la ciudad (estas zonas cuentan con sistema de aguas pluviales y red de alcantarillado separado) y ocasionaron daños importantes a la infraestructura de la ciudad, incluyendo el deslave completo de una arteria vial, así como de una sección de la red de alcantarillado sanitario y grandes daños de erosión en las riberas. Estos impactos pusieron de manifiesto la necesidad de desarrollar un plan para hacer frente a los impactos del cambio climático de forma eficaz. Los impactos de esta tormenta y el plan de trabajo derivado de este episodio se detallan en D'Andrea (2011) y Toronto (2006b y 2008b).

Una vivienda típica de la época posterior a la década de los 50 en Toronto cuenta con dos conexiones al alcantarillado (antes sólo se requería una sola conexión al alcantarillado combinado en las zonas más antiguas de la ciudad): un alcantarillado sanitario lateral para las tuberías de desagüe de aguas residuales y drenajes de sótanos, y un alcantarillado de aguas pluviales lateral para los drenajes de cimientos de la construcción (aunque algunas viviendas cuentan con drenajes de cimientos conectados al alcantarillado sanitario lateral) y bajadas de agua (en los casos en los que aún se encuentren conectados). Durante los períodos de lluvias intensas (que exceden la capacidad de los sistemas de alcantarillado), éstos se sobrecargan y el exceso ocasiona atascamientos y flujo de aguas residuales que escu-

ren hacia los sótanos, normalmente a través de los desagües de piso que se encuentran ubicados en la parte más baja de la vivienda.

Históricamente se han suscitado varios casos en los que las intensas tormentas han provocado inundaciones generalizadas de sótanos. En su mayor parte se ha logrado poner fin a estos incidentes de inundaciones de sótanos por atascamientos en la red de alcantarillado y, salvo en casos de tormentas extremas, ya no ocurren gracias a las mejoras en la infraestructura realizadas para hacer frente a este problema. En las zonas de la ciudad que cuentan con servicio de alcantarillado combinado, se construyeron alcantarillas pluviales separadas para interceptar el drenaje de las vías de comunicación con objeto de disminuir los flujos hacia el alcantarillado combinado y evitar sobrecargas. En las zonas en donde los drenajes están separados, se realizaron mejoras al sistema de alcantarillado sanitario aumentando su tamaño para evitar los cuellos de botella hidráulicos y se construyeron instalaciones para almacenamiento para hacer frente a los crecientes niveles de infiltración y afluencia de aguas pluviales en el sistema. Por desgracia, estas mejoras en capacidad no fueron suficientes para hacer frente a las torrenciales lluvias de 2005.

Por tanto, se llevó a cabo un estudio detallado de ingeniería para identificar los problemas que contribuyeron a esta inundación, así como para determinar las mejoras necesarias a realizarse para reducir el riesgo de futuras inundaciones por tormentas extremas (Toronto, 2006b). El estudio confirmó que los sistemas de alcantarillado existentes se encontraban en general en buenas condiciones estructurales y su desempeño fue el esperado de acuerdo a su diseño. A modo de ejemplo, el desagüe pluvial fue diseñado para interceptar principalmente el desagüe de aguas pluviales de tormentas con un periodo de retorno de uno en dos años a uno en cinco años. Se había previsto que el periodo de retorno de la tormenta de agosto de 2005 era superior a uno en cien años, por lo que saturó completamente el alcantarillado pluvial y sobrepasó el nivel de infiltración y flujo entrante a las alcantarillas sanitarias previsto en el diseño. Como se señaló anteriormente, los intentos realizados en el pasado para disminuir el índice de inundaciones en sótanos se centró particularmente en los sistemas de alcantarillado sanitario y alcantarillado combinado y se prestó muy poca atención a los sistemas de al-

cantarillado pluvial, tanto menores (alcantarillas) como mayores (escurrimientos).

La mayor parte de la ciudad de Toronto no cuenta con un sistema de drenaje principal adecuado, de tal manera que cuando los flujos pluviales exceden la capacidad del sistema de alcantarillado, las aguas pluviales se estancan en la superficie y fluyen hacia las áreas bajas donde, en el mejor de los casos, continúan su recorrido a través de una ruta de escurrimiento a la corriente de agua más cercana. Sin embargo, muchas zonas de la ciudad son extremadamente planas o tienen puntos bajos que carecen de salidas para el agua y, por esta razón, en episodios de tormentas extremas, se generan encharcamientos en las calles que con frecuencia rebasan los bordes de las aceras y fluyen hacia las viviendas (ver figuras 11 y 12). Agravando aún más el problema, en muchas áreas, las pendientes de las propiedades están mal niveladas (en muchos casos la pendiente va en dirección a la vivienda) y, en otros casos, las entradas tienen pendientes invertidas ocasionando que las aguas pluviales fluyan directamente hacia la vivienda. Lo anterior crea oportunidades ideales que facilitan el ingreso de las aguas pluviales al sistema de alcantarillado sanitario: a) en la superficie, las coladeras de acceso al alcantarillado sanitario ubicadas en zonas bajas propensas a la acumulación de agua ofrecen un punto de acceso directo; b) los encharcamientos de aguas pluviales alrededor de los cimien-

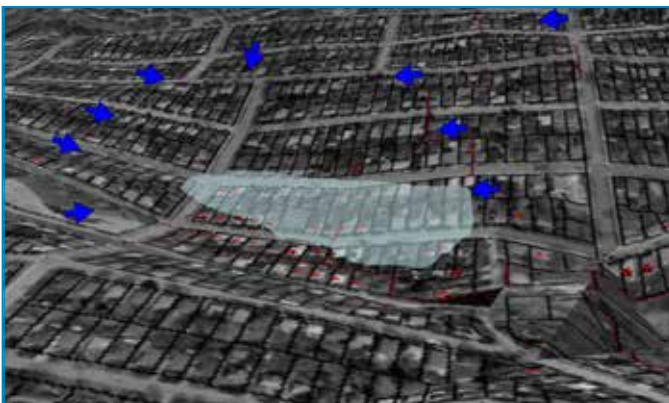
tos de las viviendas fluyen hacia el interior a través de ventanas, puertas, grietas en la pared, etcétera y, por último, a los desagües de piso conectados al alcantarillado sanitario; y c) en los casos en los que los drenajes de cimientos están conectados al alcantarillado sanitario, las saturadas condiciones del terreno ocasionan un aumento de los flujos hacia el drenaje sanitario, como se muestra en la Figura 12.

De acuerdo con el Plan Maestro de Flujos de Clima Húmedo, se utilizó un enfoque integrado para desarrollar el Programa de Protección contra Inundaciones en Sótanos de la ciudad, con objeto de hacer frente a los efectos negativos de las tormentas extremas, lo que a su vez dio lugar a la Estrategia de Adaptación al Cambio Climático que se ocupa de las inundaciones urbanas.

Los elementos clave del programa comprenden los siguientes puntos:

- a. Medidas de control de las fuentes: promover la instalación de válvulas de retorno en el servicio sanitario lateral y desconectar los drenajes de cimientos de la red de alcantarillado para conectarlos a la bomba de sumidero, todo lo cual se realizaría con subsidios proporcionados por la ciudad para llevar a cabo el cambio; formular una ley que exija la desconexión de los tubos de bajada; promover una nivelación adecuada en los terrenos, reparar grietas y filtración en paredes de cimentaciones, ventanas y puertas; y promover el diseño de jardines para que sus superficies blandas contribuyan a reducir los escurrimientos de aguas pluviales;
- b. Mejoras en el sistema de alcantarillado sanitario: realizando mejoras del nivel de servicio de alcantarillado sanitario para que permitan un mayor nivel de infiltración/flujos entrantes que el que ofrece el diseño tradicional de alcantarillado sanitario en zonas propensas a inundaciones en sótanos; y
- c. Mejoras en el sistema de alcantarillado pluvial: aumentando el nivel de servicio de los sistemas de drenaje pluvial al de un periodo de retorno de uno en 100 años, de ser viable, en lugares que carecen de un sistema de drenaje (escurrimientos) adecuado. Esto implica generalmente la construcción de entradas adicionales en zonas bajas con estanques secos de aguas pluviales en espacios abiertos disponibles; y/o depósitos de almacenamiento subterráneos o tubos de gran tamaño.

Figura 11. Rutas de escurrimientos en el área residencial de Toronto (D'Andrea, 2011)



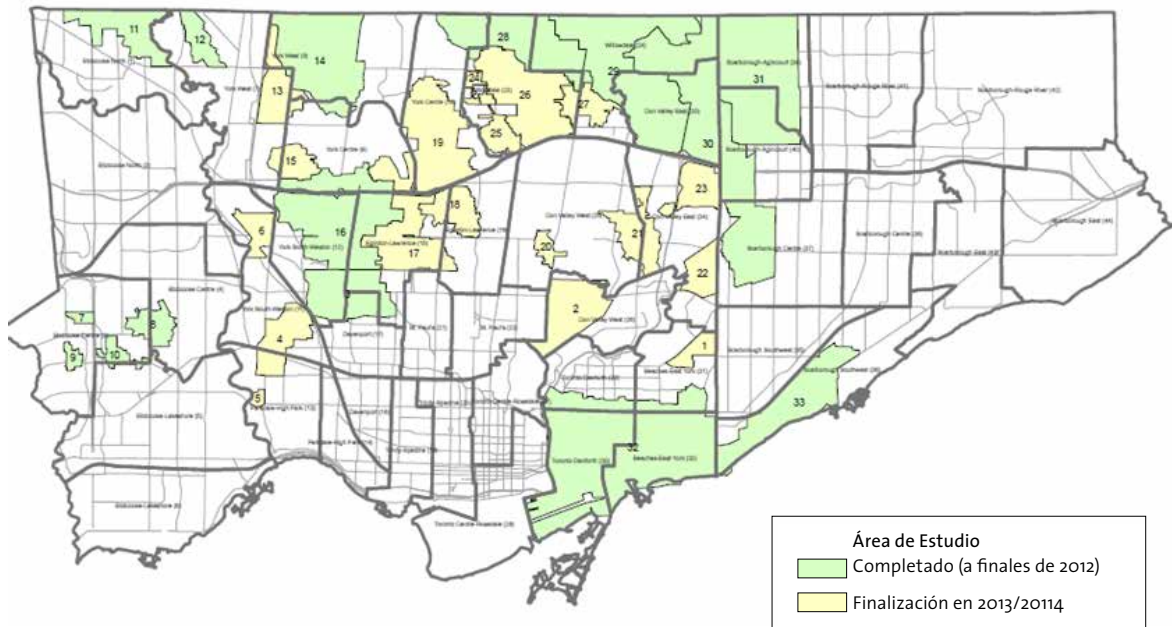
TORONTO Water
CERTIFIED WATER DISCHARGE

Una vez que se alcanza la capacidad de drenaje, si no hay salida se producirán encharcamientos en la superficie

Figura 12. Esquema del sistema de alcantarillado separado: a) operación normal cuando los flujos pluviales se mantienen dentro de la capacidad de diseño; b) operación cuando se sobrecarga el sistema de alcantarillado pluvial (D'Andrea, 2011)



Figura 13. Programa de Protección contra Inundaciones en Sótanos. Áreas de Estudio de Evaluación Ambiental (D'Andrea, 2011)



El programa arrancó inicialmente en 31 áreas propensas a inundaciones en sótanos distribuidas por toda la ciudad (Figura 13), en donde se llevaron a cabo evaluaciones ambientales a través de una amplia consulta pública con objeto de evaluar las diversas opciones para ayudar a reducir los riesgos de inundaciones. Como se puede observar, en Toronto (2008b) se completaron las evaluaciones ambientales en las cuatro primeras áreas de estudio, y de acuerdo con el enfoque anterior, de los \$230 millones de dólares canadienses identificados para la reali-

zación de mejoras de infraestructura, únicamente \$20 millones se destinaron a mejoras de alcantarillado sanitario; el resto se destinó a obras de mejoras de drenaje y alcantarillado pluvial. Debido a las constantes demandas y extrema frustración de los residentes por los episodios de tormentas que continuaron azotando la ciudad –la última tuvo lugar en julio de 2013– en donde más de 4 mil 700 viviendas sufrieron inundaciones en sótanos, el Programa se amplió para cubrir otras cuatro áreas de estudio, y el programa de diez años de Agua de Toronto ha des-

tinado aproximadamente \$1 mil millones de dólares canadienses (Toronto, 2013a) a la implementación de mejoras de infraestructura como resultado de los estudios mencionados con anterioridad.

7. Integración y financiamiento: Necesidades de infraestructura para gestión de agua urbana

Con objeto de financiar los programas antes mencionados, la ciudad de Toronto, a través de *Toronto Water Division*, se encuentra elaborando un presupuesto anual de inversiones que incluye un plan de diez años para proyectos y programas de infraestructura necesarios para desarrollar los proyectos mencionados y otros más en sus tres áreas de servicio: tratamiento y suministro de agua, recolección y tratamiento de aguas residuales, y gestión de aguas pluviales. Los proyectos se clasifican por prioridades de la siguiente manera: salud y seguridad (por ejemplo, proyectos que dirigidos al cumplimiento de disposiciones de la Ley Federal de Pesca – Reglamento de Sistemas de Aguas Residuales y Calidad de Efluentes); buen estado reconocido (por ejemplo, renovación de infraestructura); mejora de los servicios (Programa de Protección contra Inundaciones en Sótanos); y crecimiento asociado (aplicación del Plan de Uso Eficaz del Agua y mejoras de infraestructura). Se presenta un breve compendio sobre los planes de renovación de infraestructura y mejoras previstas para 2014 y por categoría, para el año 2023, en Toronto (2013a).

El presupuesto aprobado para 2014 de Agua de Toronto fue de \$613 millones de dólares canadienses; y el Plan y Presupuesto de Capital de diez años que cubren el periodo de 2014 a 2023 se estimó en \$8.97 mil millones de dólares canadienses, de los cuales 56, 24, 11 y 8% se destinó a los siguientes proyectos: estado en buenas condiciones, mejora del servicio, legislado y por crecimiento, respectivamente.

En Toronto, la presentación del presupuesto de capital se realiza en conjunto con la presentación de un informe anual de tarifas de agua y aguas re-

siduales que incluye un análisis financiero sobre el consumo previsto de agua, proyecciones de ingresos correspondientes basadas en los aumentos de tarifas propuestos y una proyección del balance del capital de reserva del cual se financia el programa de inversión. El Informe Anual de Tarifas de Agua y Aguas Residuales y Cuotas por Servicios correspondiente a 2014, que acompaña al Plan y Presupuesto de 2014 a 2023, puede consultarse en Toronto (2013b).

Poco después de la fusión de la ciudad de Toronto en 1998, las tarifas anuales de agua se establecían tomando como base la tasa de inflación, pero los ingresos generados no eran suficientes para hacer frente a las cada vez mayores necesidades de los programas de capital (Toronto, 2005). Por ende, se aplicó un aumento a las tasas anuales de 9 y 6%, respectivamente, pero incluso así los saldos de reserva de capital continuaron siendo insuficientes para financiar el programa. En 2006, Toronto emprendió una campaña de aumentos a las tarifas de agua de nueve por nueve (9% al año durante nueve años), en la que el resto de los ingresos generados se destinó a financiar el constantemente creciente programa de capital con especial atención a trabajos de renovación de infraestructura obsoleta (Toronto, 2005). Como ya fue señalado con anterioridad, el análisis completo de todas las clases de activos de infraestructura que se llevó a cabo en 2008 estima el atraso en renovación de infraestructura en \$1.8 mil millones de dólares canadienses. Tomando en consideración el aumento de ingresos y la inversión acordada para trabajos de renovación de infraestructura, a un ritmo mayor que la tasa de deterioro, para finales de 2014 se estimaba que el rezago en trabajos de renovación sería de \$1.6 mil millones de dólares canadienses, pero con la aplicación ininterrumpida de la inversión prevista, se prevé su eliminación para 2023 (Toronto, 2013a).

Agua de Toronto recaudó sus fondos bajo un esquema de pago de obligaciones a medida que se presentan, en el que la mayoría de los recursos destinados a operación y programas de capital proviene del consumo medido de agua y no depende de préstamos o financiamiento de deuda. Se utiliza una estructura de tasas de dos niveles para fijar las tarifas de agua: el primer nivel incluye a todos los usuarios, considerando un consumo industrial de los primeros 6 mil metros cúbicos por año; y, el segundo, incluye

el consumo de agua en procesos industriales superior a 6 mil metros cúbicos por año con tasas establecidas a partir de una política autorizada por el Ayuntamiento con una reducción de 30% de la tasa del nivel 1. En 2014, las tarifas de los niveles 1 y 2 se fijaron en \$2.96 y \$ 2.07 dólares canadienses por metro cúbico, respectivamente. El consumo promedio anual de los hogares unifamiliares se estima en 300 metros cúbicos, lo que representa un costo promedio anual de \$814 dólares canadienses.

Como ya fue señalado con anterioridad, a pesar del crecimiento demográfico, el consumo total de agua ha mostrado una tendencia a la baja. Aunque las condiciones meteorológicas, en especial durante los meses de verano, alteran el consumo del agua debido a actividades al aire libre (por ejemplo, riego de jardines), el constante descenso en el consumo se atribuye en gran parte a las acciones tomadas en cuanto a uso eficiente del agua y a factores económicos. En la actualidad, el consumo de agua se estima en 200 litros por habitante por día, y si se mantiene la tendencia actual, se espera que disminuya a 150

litros por habitante por día en 2025. Esto se ha traducido en una reducción considerable en los ingresos previstos, que a su vez impone límites en cuanto a recursos destinados a prioridades de proyectos de capital y al programa de capital a largo plazo. Como se señaló en Toronto 2013b, el actual plan de capital se enfrenta a un déficit de más de mil millones de dólares canadienses en los próximos 10 años y se requiere recaudar fondos adicionales para mantener los actuales niveles de servicio e impulsar los programas prioritarios del Ayuntamiento como lo son el Plan Maestro de Flujos de Clima Húmedo y el Programa de Protección contra Inundaciones de Sótanos. En fechas recientes, Agua de Toronto ha comenzado a explorar varias opciones, incluyendo la introducción de un cargo por servicios de aguas pluviales, lo que daría lugar a la creación de una fuente de recursos dirigidos específicamente a los proyectos relacionados con clima húmedo (Toronto, 2013c). Este tipo de cargo ya fue introducido en Canadá en ciudades como Calgary, Edmonton, Regina, Londres, Kitchener y Halifax.

8. Referencias

- AwwaRF, 2007. American Water Works Association Research Foundation Report 91163 Evaluating Water Loss and Planning Loss Reduction Strategies.
- Alliance for Water Efficiency, 2014. Maximum Performance (MaP) Testing. [http://www.allianceforwaterefficiency.org/Maximum_Performance_\(MaP\)_Testing.aspx](http://www.allianceforwaterefficiency.org/Maximum_Performance_(MaP)_Testing.aspx)
- CTC, 2014. CTC Source Protection Region – Source Protection Plan (Amended). http://www.ctcswp.ca/wp-content/uploads/2012/10/20141215_CTCSourcProtectionPlan.pdf
- D'Andrea, M., Snodgrass W.J., Chessie, P.D., 2004a. Development of a Wet Weather Flow Management Master Plan for the City of Toronto. *Water Quality Research Journal Canada*. Volume 39, No. 4, 417-431.
- D'Andrea, M., Snodgrass, W., Chessie, P.D., 2004b. City of Toronto Wet Weather Flow Management Master Plan, Enhancing Urban Environment by Environmental Upgrading and Restoration, 57-78. J. Marsalek *et al.* (eds.), Kluwer Academic Publishers.
- D'Andrea, 2011. A Climate Change Adaptation Strategy to Address Urban Flooding – The City of Toronto's Basement Flooding Protection Program. Presentation at the ICLR Basement Flooding Symposium, Toronto, Canada. <http://www.iclr.org/images/MD-ICLR-110526b.pdf>
- D'Andrea, 2013. Big City Water Woes – Innovating the Fix. Canadian Water Network Conference, Connecting Water Resources – Changing the Water Paradigm, Ottawa, Canada. <http://www.cwn-rce.ca/assets/resources/powerpoint/CWR-2013-Presentations/DAndrea-Michael-FINAL.pdf>
- Deb, A., R. Herz, Y. Hasit, and F. Grablutz. 1998. Quantifying Future Rehabilitation and Replacement Needs of Water Mains. AwwaRF, Denver, CO.
- Environment Canada *et al.* 1989. [Environment Canada, Ontario Ministry of Environment, Ontario Ministry of Natural Resources, Metropolitan Toronto and Region Conservation Authority]. Metro Toronto and Region Remedial Action Plan. Stage I. Environmental conditions and problem definition.
- Fisheries Act, 1985. Fisheries Development Act, R.S.C. 1985, c. F-14 Consolidated Statutes of Canada. <http://laws-lois.justice.gc.ca/eng/acts/F-14/Full-Text.html>
- Municipal Engineers Association, 2011. Municipal Class Environmental Assessment. <http://www.municipalclassea.ca/>
- Ontario, 1990a. Ontario Water Resources Act. http://www.e-laws.gov.on.ca/html/statutes/english/elaws_statutes_90040_e.htm
- Ontario, 1990b. Province of Ontario, Environmental Protection Act. http://www.elaws.gov.on.ca/html/statutes/english/elaws_statutes_90e19_e.htm
- Ontario, 1990c. Province of Ontario, Environmental Assessment Act. http://www.e-laws.gov.on.ca/html/statutes/english/elaws_statutes_90e18_e.htm
- Ontario, 1990d. Province of Ontario, Conservation Authorities Act. http://www.e-laws.gov.on.ca/html/statutes/english/elaws_statutes_90c27_e.htm
- Ontario, 1994. Water Management Policies Guidelines Provincial Water Quality Objectives. Ontario Ministry of the Environment and Energy. <https://www.ontario.ca/environment-and-energy/water-management-policies-guidelines-provincial-water-quality-objectives>
- Ontario, 1997. Province of Ontario, Development Charges Act. http://www.e-laws.gov.on.ca/html/regs/english/elaws_regs_980082_e.htm
- Ontario, 2002. Safe Drinking Water Act. http://www.e-laws.gov.on.ca/html/statutes/english/elaws_statutes_02s32_e.htm
- Ontario, 2003. Stormwater Management Planning and Design Manual, Ontario Ministry of the Environment. <http://www.ontario.ca/environment-and-energy/stormwater-management-planning-and-design-manual>
- Ontario, 2006. Clean Water Act. http://www.e-laws.gov.on.ca/html/statutes/english/elaws_statutes_06c22_e.htm

- Toronto, 2002. Water Efficiency Plan. http://www1.toronto.ca/City%20Of%20Toronto/Toronto%20Water/Files/pdf/W/WEP_final.pdf
- Toronto, 2003a. Water Efficiency Plan – Staff Report. <http://www.toronto.ca/legdocs/2003/agendas/council/cc030204/pof1rpt/clo29.pdf>
- Toronto, 2003b. Wet Weather Flow Management Master Plan - Overview and implementation plan -- Implementation schedule 2003-2027.
- Toronto, 2003c. Wet Weather Flow Management Policy. http://www1.toronto.ca/city_of_toronto/toronto_water/files/pdf/wwfmmp_policy.pdf
- Toronto, 2005. 2006 Water and Wastewater Rate Increase and Rate Projections for 2007-2015. <http://www.toronto.ca/legdocs/2005/agendas/council/cc051208/pof12rpt/clo02.pdf>
- Toronto, 2006a. Wet Weather Flow Management Guidelines. http://www1.toronto.ca/city_of_toronto/toronto_water/files/pdf/wwfm_guidelines_2006-11.pdf
- Toronto, 2006b. Work Plan for the Engineering Review Addressing Basement Flooding (City-wide). <http://www.toronto.ca/legdocs/2006/agendas/council/cc060425/wks2rpt/clo16.pdf>
- Toronto, 2008a. Toronto Water's Infrastructure Renewal Backlog. <http://www.toronto.ca/legdocs/mmis/2008/ex/bgrd/backgroundfile-16566.pdf>
- Toronto, 2008b. Update on the Engineering Review Addressing Basement Flooding. <http://www.toronto.ca/legdocs/mmis/2008/ex/bgrd/backgroundfile-15074.pdf>
- Toronto, 2010. City of Toronto's Drinking Water System Financial Plan (2010-2015). http://www1.toronto.ca/city_of_toronto/toronto_water/files/pdf/council_approved_financial_plan.pdf
- Toronto, 2011a. Water Efficiency Plan Update – 2011. <http://www.toronto.ca/legdocs/mmis/2011/bu/bgrd/backgroundfile-34918.pdf>
- Toronto, 2011b. Wet Weather Flow Master Plan and Basement Flooding Protection Program Update. <http://www.toronto.ca/legdocs/mmis/2011/pw/bgrd/backgroundfile-40671.pdf>
- Toronto, 2012. 2013 Water and Wastewater Water Rates and Service Fees. http://www1.toronto.ca/static_files/budget/2013/pdf/Report_2013_Water_Rates.pdf
- Toronto, 2013a. Capital Budget Analyst Notes: Toronto Water 2014-2023 Capital Budget and Plan. <https://www1.toronto.ca/City%20Of%20Toronto/Strategic%20Communications/City%20Budget/2014/PDFs/CA%20Capital%20Analyst%20Notes/Toronto%20Water%20-%202014%20Public%20Book-Capital%20Analyst%20Notes.pdf>
- Toronto, 2013b. 2014 Water and Wastewater Rates and Service Fees. <http://www.toronto.ca/legdocs/mmis/2013/bu/bgrd/backgroundfile-63584.pdf>
- Toronto, 2013c. Future Options and Public Attitudes for Paying for Water, Wastewater and Stormwater Infrastructure and Services. <http://www.toronto.ca/legdocs/mmis/2013/ex/bgrd/backgroundfile-62753.pdf>
- Wastewater Systems Effluent Regulations, 2012. <http://laws-lois.justice.gc.ca/eng/regulations/SOR-2012-139/index.html>
- WEF/ASCE. 1998 Urban runoff quality management. WEF Manual of Practice No 23. ASCE Manual and Report on Engineering Practice No 87. ISBN 1 – 57278-039-8. 259 pp.

Chile



Santiago, capital de Chile. Al fondo, la Gran Torre Santiago, con más de 300 metros de altura, es el edificio más alto de Latinoamérica y el Río Mapocho que divide la ciudad en dos. Foto: ©iStock.com/Phototreat.



“La geografía extrema de Chile, con paisajes que incluyen el desierto más seco del mundo, así como los campos de hielo más extensos del hemisferio Sur fuera de Antártica, impone desafíos complejos a la gestión de aguas. El desarrollo de Chile y sus ciudades se produce en un momento histórico donde cobran cada vez más importancia conceptos como la equidad en el acceso a bienes y servicios ecosistémicos, y la igualdad en oportunidades de desarrollo humano; el agua es un factor especialmente importante para la obtención de estos objetivos”

Seguridad hídrica en ciudades de Chile: avances y desafíos pendientes

James McPhee, Jorge Gironás,
Bonifacio Fernández, Pablo Pastén,
José Vargas, Alejandra Vega
y Sebastián Vicuña

Resumen

Como ocurre en muchas otras ciudades del mundo, el ordenamiento de las ciudades de Chile busca lograr la seguridad hídrica, por la vía de aumentar su potencial productivo y minimizar su potencial destructivo a través de Sistemas Hídricos Urbanos, ya sea privados o públicos. La evolución histórica del sector hídrico urbano de Chile muestra una trayectoria exitosa, con grandes avances en cobertura de suministro de agua potable, recolección y tratamiento de aguas residuales, que se han consolidado con un modelo institucional de provisión privada con efectiva supervigilancia gubernamental. Estos avances han redundado en una disminución importante de las enfermedades infecciosas relacionadas. No obstante lo anterior, subsisten desafíos que incluyen problemas localizados de calidad de agua asociados a las condiciones geológicas del territorio; necesidad de gestión integrada y sustentable de sistemas hidrológicos urbanos y naturales considerando cantidad y calidad de agua; y fortalecimiento del acceso equitativo a servicios sanitarios por parte de toda la población, sobre todo aquella residente en sectores semi-urbanos no incorporados a la zona de servicio de empresas sanitarias. Dado que la mayoría de las ciudades de Chile se ubican en zonas donde impera hoy la escasez, o donde se espera que el cambio climático global genera impactos negativos en este sentido, se hace urgente abordar estos desafíos utilizando las herramientas de gestión disponibles y modificando aquellas que demuestren ser insuficientes para abordar los desafíos identificados.

1. Introducción

Actualmente 89% de la población de Chile vive en ciudades, superándose tanto el promedio mundial (54%) como el de Latinoamérica y el Caribe (80%), y estimándose 93% de población urbana para 2050 (United Nations, 2014). Como

2. Gobernanza y gestión del sector sanitario en Chile

ocurre en muchas otras ciudades del mundo, el ordenamiento de las ciudades de Chile busca lograr la seguridad hídrica,¹ por la vía de aumentar su potencial productivo y minimizar su potencial destructivo a través de Sistemas Hídricos Urbanos, ya sea privados o públicos. La gran diversidad geográfica de Chile hace que sus ciudades enfrenten una amplísima gama de amenazas a la seguridad hídrica, desde la hiper-aridez y competencia entre usuarios que enfrentan las ciudades del norte del país; escasez e intrusión salina en ciudades costeras, inundaciones en la zona sur y problemas locales de calidad de agua de diverso origen.

Las ciudades, en general, pueden ser estables en el sentido de su superficie, o encontrarse en fase de expansión (como es el caso de Chile). Las primeras típicamente cuentan con una infraestructura establecida para ofrecer servicios, aun cuando el nivel de logro de los objetivos de la misma puede ser incompleto. En el segundo caso, muchas veces es necesario desarrollar infraestructura de manera acelerada, en procesos que a veces no son armónicos con el resto del desarrollo urbano, lo que agrega presiones excesivas sobre los sistemas existentes. Si bien la carencia de infraestructura puede ser vista como una debilidad, también es posible pensar en ella como una oportunidad para desarrollar soluciones innovadoras, tomando en cuenta la experiencia de otras ciudades, así como nuevo conocimiento sobre procesos acelerados de cambio global tales como el cambio climático. A continuación se presenta la experiencia de Chile, centrándose en tres temas principales: i) la experiencia institucional del sector sanitario; ii) los desafíos en gestión sostenible de aguas lluvias; y iii) los impactos esperados del cambio climático y las primeras aproximaciones a la adaptación a los mismos.

1. Seguridad Hídrica se entiende aquí según la definición de Naciones Unidas, que indica que ésta es la capacidad de la población de salvaguardar acceso sostenible a cantidades suficientes de agua de calidad aceptable para sustentar la vida, el bienestar de la población y el desarrollo económico; para asegurar la protección contra contaminación de sistemas acuáticos y desastres relacionados al agua, y para preservar ecosistemas en un clima de paz y estabilidad política.

Valenzuela y Jouravlev (2007) identifican cuatro fases históricas en el desarrollo del sector sanitario de Chile. La primera fase, entre 1950 y 1974, se caracteriza por una provisión exclusivamente estatal de los servicios sanitarios. En el contexto histórico de la época, el funcionamiento de las empresas públicas no distinguía adecuadamente entre los roles de fiscalización y provisión de servicios, no se cobraba el costo real de los mismos a los usuarios, existía un alto nivel de subsidios no focalizados, y las decisiones de inversión competían con otras necesidades del Estado. En esta fase se creó la Dirección de Obras Sanitarias (DOS) en 1953, a partir de la fusión del Departamento de Hidráulica del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y la Dirección General de Agua Potable y Alcantarillado del Ministerio del Interior. Si bien la DOS era nominalmente el único ente con la misión del desarrollo de servicios de agua potable y alcantarillado urbanos, en la práctica compartía responsabilidades con otros organismos del Estado, lo que es una característica del sector hídrico Chileno que subsiste hasta la actualidad (Banco Mundial, 2012).

La segunda fase, entre 1975 y 1990, coincide casi exactamente con la vigencia del Gobierno militar (1973-1990). Este período estuvo marcado por un énfasis en la liberalización y desregulación de varios mercados con el fin de disminuir la inflación y lograr equilibrios macroeconómicos. Además se verificó un impulso de la Autoridad por disminuir el rol del Estado, limitándolo a labores de fiscalización y subsidio. De gran relevancia en este período fue la promulgación del Código de Aguas de 1981, que entre otras cosas estableció la naturaleza privada de los derechos de aprovechamiento de agua, posibilitando la reasignación de agua mediante transacciones de mercado. Si bien muchas empresas públicas fueron privatizadas en esta fase, el sector sanitario se mantuvo bajo control estatal, y se optó por perfeccionar el sistema. Institucionalmente, en 1977 se creó el Servicio Nacional de Obras Sanitarias (SENDOS), que integró diversos servicios dispersos a nivel nacional. El SENDOS era una institución autónoma del Estado, desconcentrada territorialmente; contaba con una Dirección Nacional y once direcciones regionales, además de supervigilar a dos empresas estatales que se crearon específicamente para aten-

der las ciudades de Santiago (EMOS, Empresa Metropolitana de Obras Sanitarias) y Valparaíso (Empresa de Obras Sanitarias de Valparaíso, ESVAL). Diversos autores coinciden en que esta estructura permitió aumentar notoriamente la eficiencia del sistema e impulsar el notable aumento de cobertura experimentado en esta fase, a través de la reducción de dotación de personal, mayor flexibilidad en la toma de decisiones, mayor transparencia y mejor uso de recursos (Salazar, 2003; Alegría y Celedón, 2004; Fischer y Serra, 2004). En términos financieros, esta fase está marcada por cambios tales como el aumento en la recaudación por la vía de mayor estrictez en el cobro de cuentas, la subcontratación de servicios a empresas externas, un aumento progresivo de las tarifas acompañado de subsidios focalizados a sectores de bajos ingresos. De particular relevancia resulta el impulso para modernizar el sistema de tarificación, que pasó por varias iteraciones hasta converger a un esquema general de regulación que se implementó en la tercera fase histórica. Al final de esta segunda fase concretó un nuevo marco regulatorio, con la promulgación de la Ley de Tarifas de Servicios Sanitarios y la Ley General de Servicios Sanitarios (1988), la Ley de subsidio al Pago de Consumo de Agua Potable y Servicio de Alcantarillado (1989), y la Ley que crea la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) (1990). Además, en este período se permitió al Estado desarrollar actividades empresariales en materia de agua potable y alcantarillado, para lo cual se convirtió a SENDOS y sus direcciones regionales EMOS y ESVAL en sociedades anónimas con participación mayoritaria de la Corporación de Fomento (CORFO).² Si bien estas transformaciones tenían como objetivo implícito la facilitación de la privatización de las empresas sanitarias, en la práctica este proceso no se concretó hasta algunos años después.

La tercera fase, entre 1991 y 1994, se caracterizó por un sistema en que empresas públicas operaron en un esquema diseñado para empresas privadas. El Gobierno de la época decidió suspender la privatización que se había insinuado con los cambios regulatorios de fines del Gobierno militar, y en cambio impulsó mejoras en la gestión de estas empresas con las herramientas disponibles. Un paso importante fue la fijación de tarifas de acuerdo a los costos de

desarrollo, acompañadas de subsidios focalizados, lo que permitió mejorar la rentabilidad de las empresas sin grandes costos políticos. Con el aumento gradual de tarifas, hacia 1997 todas las empresas sanitarias estatales generaban utilidades, y aportaban fondos al Fisco para el financiamiento de otros programas sociales (Alegría y Celedón, 2004). Hacia 1995, la rentabilidad anual neta de EMOS era de aproximadamente 11% sobre los activos totales; en parte, esta buena situación se potenció por el buen desempeño económico del país, que permitió que las personas tuvieran mayores ingresos y estuvieran más dispuestas a pagar por los servicios de agua potable y alcantarillado. Esta fase también se caracterizó por la entrada en funcionamiento de la SISS, que significó que un ente estatal fiscalizara activamente a empresas de propiedad pública.

La cuarta fase, iniciada en 1995 y que se prolonga hasta el presente, corresponde a la privatización de las empresas sanitarias públicas existentes en 1994. El Gobierno de la época justificó la decisión de privatizar estas empresas en la necesidad de aumentar la capacidad de inversión de las mismas con el fin de hacer frente a las crecientes necesidades de tratamiento de aguas servidas en el país. Este tema era percibido como una deuda arrastrada por las empresas públicas del sector, que si bien habían aumentado notoriamente la cobertura de abastecimiento de agua potable y servicio de recolección de aguas servidas en las décadas previas, no había exhibido un desempeño similar en la cobertura de tratamiento. Asimismo, se argumentó que de esta forma el Estado no distraería fondos públicos, necesarios para financiar otros programas sociales, haciendo inversiones en infraestructura que podían ser abordadas con capitales privados. Entre 1995 y 1998, gatilladas en cierta medida por sucesos específicos que cobraron cierta notoriedad pública, se impulsaron medidas correctivas de las leyes promulgadas en los años previos. Así, en 1998 se modificaron la Ley de Tarifas de Servicios Sanitarios, la Ley General de Servicios Sanitarios y la Ley de la Superintendencia de Servicios Sanitarios. El Estado debe mantener para sí 35% de la propiedad de las empresas sanitarias regionales, porcentaje que puede disminuir si no contribuye a aumentos de capital. No obstante lo anterior, el Estado mantendrá poder de veto sobre ciertas decisiones siempre que su participación sea superior a 35%, o bien por 10 años después del instante en que su par-

2. CORFO es el organismo del Estado encargado de promover el desarrollo productivo.

ticipación disminuya por primera vez bajo 35% del capital con derecho a voto, en tanto que su participación sea igual o mayor a 10%.

La esencia de las modificaciones introducidas se puede resumir en:

- Un fortalecimiento de la SISS, con mayores recursos, autonomía y competencias, así como con mejores instrumentos para la fiscalización. De especial interés fue la modificación del régimen de sanciones a las empresas por incumplimiento de sus obligaciones.
- Se restringió la participación de empresas proveedoras de otros servicios públicos y que operen en el mismo territorio de concesión de una empresa sanitaria; con esta medida se buscó prevenir la concentración institucional de servicios básicos.
- Se introdujeron restricciones a la propiedad de las empresas, para evitar la creación de monopolios y favorecer la competencia por comparación.
- Se regularon las transacciones con empresas relacionadas.
- Se adoptaron medidas para regular conflictos de interés y para evitar la manipulación de información.
- Se mejoró el procedimiento de resolución de controversias.
- Se perfeccionó e hizo más transparente el procedimiento y metodología para fijación de tarifas.

Aspectos sanitarios en sectores urbanos: provisión de agua potable y gestión de aguas servidas

Cobertura de servicios

La cobertura de infraestructura de agua potable y sanitaria ha alcanzado niveles elevados en Chile. El documento Progreso en Agua Potable y Saneamiento (actualización 2014) de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la UNICEF indica que Chile alcanzó los *Objetivos de Desarrollo del Milenio* de las Naciones Unidas tanto para acceso a agua potable como para saneamiento para la población total (UNICEF/WHO, 2014). La población total (% urbano) de Chile ha subido de 13,2 (83%) a 17,5 (89%) millones de habitantes desde 1990 hasta 2012, con porcentajes de saneamiento mejorado que han subido desde 91 a casi

100% a nivel urbano, y con acceso a fuentes de agua potable mejoradas que han ido desde 99 a casi 100% en ese mismo período.

La Figura 1 muestra la evolución de la cobertura de agua potable, red de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas en los últimos diez años (2004-2013). A nivel nacional, en 2013, la cobertura de agua potable es de 99,9%; las regiones con menor cobertura son: Araucanía (99,8%), Atacama (99,7%), Coquimbo (99,7%) y Valparaíso (99,4%); la cobertura de saneamiento es de 96,5%, con un mínimo de 88,2% en la región de O'Higgins, mientras que la cobertura de tratamiento de aguas servidas es de 99,9% de la población conectada al sistema de alcantarillado, siendo la región del Maule la única donde no se trata todo el volumen recolectado (98,4%) (SISS, 2013a).

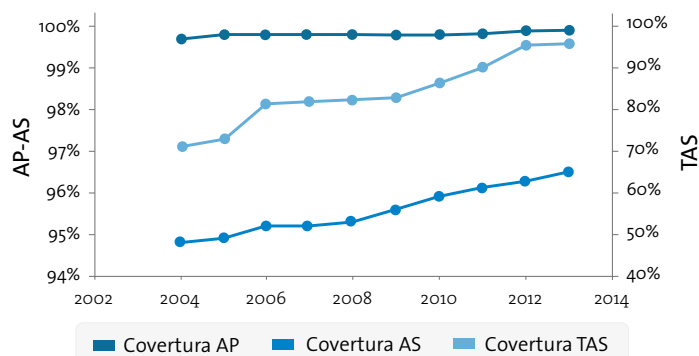
El año 2013 las empresas sanitarias produjeron un total de 1.639.247 miles de m³ (equivalente a ~52 m³/s), de los cuales 33,7% en promedio no fue facturada, correspondiente a pérdidas en las etapas de producción y distribución (SISS, 2013b). La Figura 2 presenta la evolución temporal de la producción promedio de agua por las empresas sanitarias y consumo promedio en los últimos diez años (2004-2013).³ En promedio, considerando la población abastecida por las empresas sanitarias, se puede estimar una dotación promedio por habitante de 139 L/día⁴ (138,5 y 138,9 para el año 2012 y 2013 respectivamente), con un máximo de 531,4 L/día por habitante para la empresa "Aguas Manquehue" (abastece parte del sector oriente de Santiago) y un mínimo de 70,4 L/día para la localidad de Melipilla Norte (año 2013).

Las coberturas del sector urbano son sustancialmente superiores respecto del sector rural. Las coberturas de agua potable a través del sistema de agua potable rural (APR) alcanzan del orden de 70-86% (el valor depende de la estimación de la población rural). No obstante, la OMS-Unicef posiciona a Chile con la mayor reducción de la brecha de cobertura de agua potable urbana-rural para el periodo 1990-2012, entre los países que para 1990 tenían más de 95% de cobertura en sectores urbanos (UNICEF/WHO, 2014).

3. Dato de las 25 empresas principales, que en conjunto prestan servicios de saneamiento y agua potable al 99,4% de los clientes de la zona urbana de Chile.

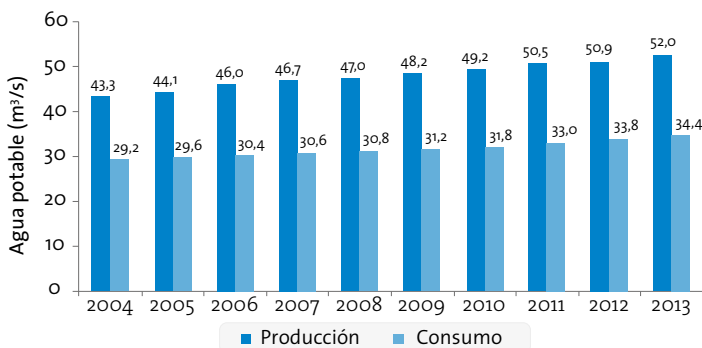
4. 1 m³/s = 86.400.000 L/día

Figura 1. Coberturas urbanas de agua potable (AP), alcantarillado (AS) y tratamiento de aguas servidas (TAS) para el período 2004-2013



Las coberturas de AP y AS se leen sobre el eje vertical izquierdo, y la cobertura TAS se leen sobre el eje vertical derecho. El cálculo se realizó considerando la población total urbana. Fuente: elaboración propia sobre la base de la información publicada por la SISS.

Figura 2. Producción y consumo promedio de agua potable en los últimos diez años (2004-2013)



Elaborado sobre datos de producción y facturación reportados por la SISS.

Calidad del agua potable

La calidad del agua potable es controlada regularmente de acuerdo con la normativa vigente y está disponible a través de la SISS, lo que permite disponer de un registro de excedencias en los parámetros en relación a la norma de calidad de agua potable (NCh 409/1 Of. 2005) (SISS, 2014). Para tener una noción general de los principales incumplimientos, se analizó una muestra de cinco meses entre febrero de 2012 y marzo de 2014. Para ese periodo se encontró un total de 156 excedencias sobre un total de 81.725 mediciones, lo que equivale a que menos de 0,2% de los parámetros medidos no cumple el estándar. La Tabla 1 presenta un resumen de los parámetros para

los cuales se identificó excedencias y las localidades afectadas. Los mayores porcentajes de excedencias en relación a la cantidad de veces que fue reportado el parámetro fueron: sulfatos (1,37%), arsénico (1,21%), sólidos disueltos (1,16%) y nitratos (0,95%). Los incumplimientos en sulfatos y sólidos disueltos se concentran en localidades de la zona norte, mientras que los incumplimientos en arsénico y nitratos se concentran en localidades de la zona norte y zona central del país. En la zona sur los incumplimientos para los meses analizados son marginales respecto a las zonas norte y centro.

Uno de los contaminantes en las fuentes de agua potable que mayor preocupación ha generado en los últimos años es el arsénico. Los casos de las ciudades de Antofagasta y Calama fueron conocidos en la década de 1970, cuando se instalaron plantas de procesos de coagulación-floculación con cloruro férrico (Sancha, 2006). De hecho, la exposición a arsénico en Antofagasta ha sido fundamental para la ciencia mundial como caso de estudio para elucidar los efectos de la ingesta de arsénico sobre la salud humana (Ferruccio, 2006). Recientemente, la concentración máxima permitida de arsénico en agua potable ha sido reducida de 0,05 a 0,01 mg/L, lo cual ha llevado a las empresas sanitarias a adoptar medidas para cumplir esa normativa y a la vez satisfacer la creciente demanda. La Figura 3 presenta un resumen de los sistemas de agua potable que han adoptado tecnologías de abatimiento de arsénico. Las plantas construidas en los años 70 siguen funcionando sobre procesos de coagulación-floculación con cloruro férrico y sus sistemas han sido optimizados recientemente para alcanzar límites más exigentes (Granada, 2003). En los últimos años la puesta en marcha de plantas de desalinización para Antofagasta (Edwards, 2012) ha servido para controlar la concentración de arsénico en esa ciudad. Las plantas desalinizadoras produjeron 1,2 m³/s para agua potable y agua para minería (en partes iguales, año 2010 en la región de Antofagasta); se estima que a 2019 la producción de agua potable por desalación aumentará 2,7 veces mientras que para la actividad minera aumentará 6,4 veces (principal actividad económica de la región). Es importante destacar que algunos sistemas de agua potable que tienen fuentes con arsénico por sobre los valores normados no han requerido de implementación de procesos específicos de remoción de arsénico más allá de realizar una

Tabla 1. Incumplimiento en parámetros de calidad del agua potable

Parámetro	Norma	Unidad	Incumplimientos			Localidades		
			Total reportes	Incumplimientos	%	Zona Norte	Zona Centro	Zona Sur
Arsénico	0,03 0,01	mg/L	1906	23	1,21	Alto Hospicio, Diego de Almagro, Huara, El Salado	Barnechea, Lampa, Quilicura, Chacabuco	
Bromodichlorometano	0,06	mg/L	1897	1	0,05			Coronel
Cloro libre residual	0,2 a 2	mg/L	1917	8	0,42		Lampa, Chacabuco	Empedrado, Constitución, Lebu
Cloruros	400	mg/L	1900	7	0,37	Copiapó, Totoralillo		
Coliformes totales	Ausencia	-	1917	10	0,52		Barnechea, Valdivia de Paine, Los Álamos, Los Molles	Labranza, Pillanlelbún
Color verdadero	20	Pt-Co	1912	1	0,05			Porvenir
Fluoruro	1,5	mg/L	1907	5	0,26	Copiapó, Caldera	Maipo Laguna Negra, Coinco	
Hierro total	0,3	mg/L	1903	5	0,26	Totoralillo	La Ligua	Iloca
Manganeso total	0,1	mg/L	1901	5	0,26	Totoralillo	La Ligua	Bulnes
Nitratos	50	mg/L	1899	18	0,95	Chañaral, Caldera, Copiapó	Quillota, Lo Aguirre	
Olor	Sin olor	-	1906	1	0,05		Puchuncaví	
pH	6,5 a 8,5	unidades	1889	6	0,32		Santo Domingo, Lampa	San Pedro de la Paz, Punta Arenas
Razón nitratos+nitritos	1	razón	1900	13	0,68	Caldera, Chañaral	Lo Aguirre	
Sabor	Sin sabor	-	1904	1	0,05		Puchuncaví	
Sólidos disueltos totales	1500	mg/L	1899	22	1,16	Arica, Copiapó, Caldera, Chañaral, Tierra Amarilla		
Sulfatos	500	mg/L	1899	26	1,37	Caldera, Chañaral, Copiapó, Inca de Oro, La Tirana, Tierra Amarilla		
Turbiedad	2	mg/L	1917	3	0,16	Antofagasta,	Los Molles	
Trihalometano	1	razón	1898	1	0,05			Coronel

Fuente: Elaboración propia sobre la base de la información publicada por la SISS (www.siss.cl)

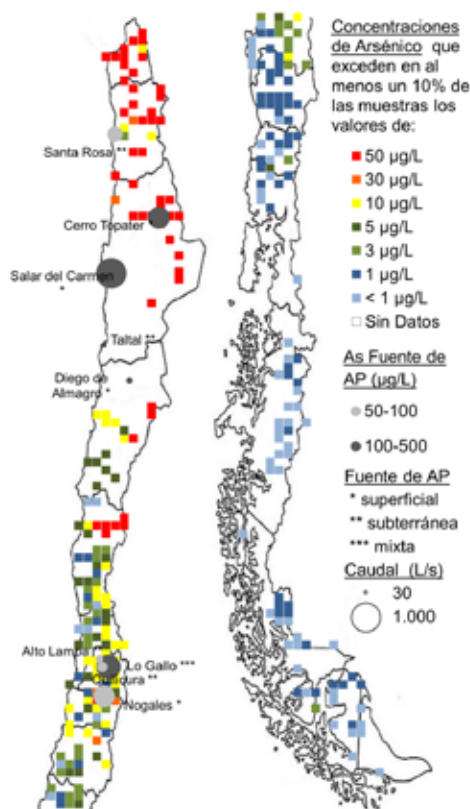
dilución con fuentes de menor concentración de arsénico. Sin embargo, se espera que para satisfacer el continuo aumento de la demanda se requiera cada vez aumentar el uso de fuentes con arsénico y por lo tanto introducir sistemas de control del mismo.

Además del arsénico, la literatura permite identificar otros contaminantes en fuentes de agua potable que requieren atención para el futuro. Éstos son:

- Boro: en el norte de Chile existen fuentes de agua potable con elevadas concentraciones de boro. El valor máximo recomendado por la OMS para boro en agua potable es de 2,4 mg/L (WHO, 2011), mientras que la norma chilena de agua potable no incluye este parámetro. Dada la dificultad y costo de remover boro de fuentes de agua

potable, la OMS recomienda que cada país fije este parámetro cuidadosamente considerando las distintas fuentes de exposición. Un estudio realizado recientemente en la ciudad de Arica entre 2006 y 2010 (Cortes, 2011) midió un rango entre 0,22-11,3 mg/L de boro en sistemas públicos de agua potable, con una mediana de 2,9 mg/L para un total de 173 muestras. El mismo estudio encontró que la concentración de boro en la orina se correlaciona positivamente ($r=0,64$) con la concentración de boro medida al interior de los hogares de los individuos que participaron en el estudio, recomendando que se realicen mediciones sistemáticas y se incorpore este parámetro en la normativa de agua potable chilena.

Figura 3. Principales plantas de tratamiento que abaten de arsénico (círculos) y ocurrencia de arsénico en aguas superficiales y subterráneas (cuadrados)



Fuente: elaboración propia, datos de calidad del agua superficial y subterránea de la base de datos de la Dirección General de Aguas; datos de plantas de abatimiento de arsénico de Ahumada (2014).

- Perclorato: la exposición a este contaminante se relaciona con efectos sobre la función tiroidea (Brechner, 2000). Chile es uno de los pocos países donde se ha detectado la ocurrencia natural de perclorato en suelos y aguas, principalmente asociado a depósitos de nitratos. Si bien la OMS no incluye todavía una recomendación para el perclorato (WHO, 2011), en Estados Unidos su regulación es objeto de debate y se encuentra en la agenda normativa. El estado de California actualmente tiene en vigencia un valor máximo de 6 µg/L, existiendo presión por bajarlo a 1 µg/L. En Chile existen escasas mediciones todavía, pero se considera que a medida que se realicen mayores campañas de monitoreo, se encuentren áreas en el norte de Chile con valores por sobre los 6 µg/L. Un estudio reciente midió valo-

res de 1480 y 744 µg/L en las localidades de Pica y Canchones respectivamente (Calderón, 2014). Un estudio anterior (Téllez, 2005) midió concentraciones de 114, 6, y 0,5 µg/L de perclorato en las aguas potables de las ciudades de Taltal, Chañaral, y Antofagasta respectivamente.

- Otros contaminantes: actualmente existe preocupación por los microcontaminantes presentes en fuentes de agua potable que son receptoras de descargas de aguas servidas tratadas. Tradicionalmente la preocupación se ha enfocado en la presencia de compuestos organoclorados, pero recientemente también ha ganado interés la presencia de compuestos farmacéuticos y productos de cuidado personal. La literatura de corriente principal no arroja mediciones sistemáticas de este tipo de compuestos en aguas potable en Chile, probablemente debido a que los métodos analíticos para su cuantificación no están suficientemente disponibles.

Aspectos sanitarios y ambientales: perspectivas

El análisis del agua en la ciudad no se puede separar de la cuenca donde se emplaza. Por una parte la cuenca impone condiciones hidrológicas y bioquímicas que determinan los desafíos particulares en torno a la calidad y cantidad de agua disponible para una ciudad. Estas condiciones pueden ser de origen natural (e.g., geología) o determinadas por el hombre (e.g., actividades mineras, industriales, generación de energía). Por otra parte, la ciudad tiene un verdadero metabolismo que consume recursos, genera residuos y realiza descargas que pueden afectar en forma importante la calidad y cantidad de agua en su cuenca, generándose así una interacción compleja entre los sistemas urbanos y sus cuencas, convirtiendo a las cuencas en sus unidades naturales de análisis. La sustentabilidad de los sistemas de tratamiento para proveer de agua potable ciertamente depende de la calidad de las fuentes, mientras que el efecto real de las descargas de aguas servidas tratadas claramente depende de las características de los cuerpos receptores. Por ejemplo, en febrero de 2014 sobre un total de 278 sistemas de gestión de aguas servidas (incluyendo plantas de tratamiento y emisarios), 20 (~7%) no cumplieron los estándares de operación exigidos por la normativa. Sin embargo, no se dispone de información que permita evaluar en forma concreta los efectos medioambientales de

tales incumplimientos. En ese sentido, es importante considerar que Chile recién está en el proceso de definir normas secundarias de calidad para cuencas hidrográficas, que no sólo permitirán regular de mejor manera el tratamiento de agua potable y aguas servidas, sino también definir metas para la gestión de las aguas lluvias y su calidad. Por lo tanto, todavía existe un largo camino para generar la base de información que permita entender mejor los procesos que regulan las interacciones entre la ciudad y su cuenca.

3. Gestión sustentable de aguas lluvias

El crecimiento de la población urbana de Chile ha implicado altas tasas de desarrollo urbano similares a las de la segunda mitad del Siglo XX, donde sólo en Santiago se urbanizó a una tasa de 8 km²/año (Fuentes y Sierralta, 2004). Este crecimiento ha generado un cambio radical en la hidrología de las cuencas naturales, que se traduce en problemas de inundación, alteración de cauces y contaminación de cuerpos receptores (Estelle *et al.*, 2012). Adicionalmente, la ocupación territorial no planificada ha hecho que viviendas e infraestructura pública y privada se ubiquen en quebradas, cauces, humedales, zonas bajas y en las zonas inundables de cauces y ríos. Estos cambios se traducen en problemas periódicos de inundación en distintas ciudades de Chile, y costosas inversiones en infraestructura para su solución.

A continuación se presenta someramente la temática de la gestión de aguas lluvias en Chile orientadas a enfrentar estos problemas. Se parte con una breve descripción de la historia y actualidad de la gestión de aguas lluvias en el país, para posteriormente presentar los nuevos enfoques y herramientas recientemente incorporados que permiten dar un nuevo paso hacia una mejor gestión del drenaje urbano. Finalmente se plantean futuros desafíos.

La gestión de las aguas lluvias en Chile

El drenaje urbano data de inicios del Siglo XIX al ser necesario solucionar el problema sanitario de las aguas servidas escurriendo por acequias abiertas. De esa época destaca el sistema de alcantarillado y de recolección de aguas lluvias del centro de San-

tiago construido en 1906 (Bertrand, 1908). Posteriormente, y hasta la década del sesenta, se construyen en las distintas ciudades del país redes de colectores unitarios, calculados para evacuar conjuntamente las aguas servidas y escorrentía urbana de período de retorno importante. En las décadas de 1970, y particularmente 1980, las aguas lluvias son un problema secundario al de las aguas potable y servidas, asignándosele a las municipalidades en 1992 la gestión de éstas dada la falta de legislación al respecto.

La Ley N° 19,525 de Aguas Lluvias de 1997 declara al Estado responsable de la existencia de sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias en centros poblados. Cada uno de estos sistemas se separa en una red primaria y otra secundaria, gestionadas por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) respectivamente. La Ley crea la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), encargada de elaborar Planes Maestros (PMs) de drenaje urbano y revisar las conexiones de la red secundaria a la primaria. Posteriormente en 2000 se crea la Subdirección de Aguas Lluvias (actual División de Cauces y Drenaje Urbano) con objeto de asesorar en la confección de PMs, diseño, construcción, explotación y conservación de obras de drenaje de aguas lluvias, y la coordinación entre el MOP y el MINVU.

Los 33 PMs ya elaborados, y otros en etapas de desarrollo, cubren ciudades de todo el territorio que albergan 85% de la población. Ellos se han transformado en una guía para la gestión de las aguas lluvias, principalmente desde la óptica de la red primaria. El PM define las redes primaria y secundaria, y contiene estudios básicos de hidrología e hidráulica, además del análisis técnico y económico de distintas alternativas de gestión para la red primaria. Por su parte, el MINVU, a través de los Servicios de Vivienda y Urbanismo regionales, ha definido una serie de normativas para las redes secundarias, las que típicamente están asociadas a urbanizaciones. En particular, el MINVU ha propuesto guías de diseño para orientar a urbanizadores y constructores en el desarrollo y aplicación de obras de drenaje urbano (MINVU, 1996; MINVU, 2008).

Sin embargo, tanto los PMs en particular, como la gestión en general del drenaje urbano presentan ciertas falencias muy vinculadas a la generalizada inacción en el tema prevalente antes de la promulgación de la ley N°19,525 y al antiguo paradigma que consideran la escorrentía urbana como una molestia,

residuo e incluso amenaza, y no como un potencial recurso a proteger. Algunas de estas falencias son: (1) una falta de visión integral donde la cuenca, y no la unidad administrativa, es la unidad territorial relevante, (2) la carencia de objetivos ambientales (i.e., preservación de cauces, control de la calidad del agua de cuerpos receptores), que dependen de la realidad de cada cuenca, (3) la nula o baja integración de distintas escalas espaciales (desde la escala domiciliaria hasta la regional) en el desarrollo de alternativas de gestión de escorrentía, ya que el foco de los PMs es la red primaria, (4) el énfasis en el uso de soluciones de conducción en desmedro de técnicas y obras basadas en infiltración y almacenamiento, (5) la nula o baja vinculación con los Instrumentos de Planificación Territorial (IPTs) y (6) la orientación más bien “estructural” de los sistemas, siendo las medidas no estructurales y la gestión de zonas de inundación sólo abordadas parcialmente.

Planificación y gestión sostenible del drenaje urbano

Los anteriores problemas requieren de una gestión integrada a largo plazo donde se incorporen las distintas escalas espaciales y los diversos actores involucrados. Con tal propósito, en el año 2013 el MOP publicó el Manual de Drenaje Urbano (MDU) (MOP-DOH, 2013), el cual aborda esta tarea poniendo en un mismo contexto las preocupaciones, intereses y responsabilidades de los actores involucrados (i.e., privados, urbanizadores, municipios, ministerios públicos y empresas sanitarias) para generar un único documento aplicable a todo el país, que guíe la participación de estos actores en la planificación, diseño, operación y conservación de los sistemas de drenaje urbano. El MDU representa el estado del arte de la gestión de aguas lluvias en Chile, por lo que sus principales planteamientos y enfoque se resumen a continuación. Para mayor detalle en algún tema de interés se recomienda su lectura, particularmente en lo relacionado al diseño de obras.

Fundamentos de la hidrología urbana

El desarrollo urbano significa la remoción y reemplazo masivo de la capa superior del suelo, vegetación y la red de drenaje natural, con áreas impermeables (i.e., calles, casas e infraestructura urbana). Esto im-

plica una pérdida de la capacidad natural de infiltración, almacenamiento y evapo-transpiración, procesos esenciales en el balance hídrico natural, y un aumento en la escorrentía directa superficial (Akan and Houghtalen, 2003). Esto, junto con la construcción de una red de drenaje artificial, significa un cambio en la hidrología local y el régimen de caudales, generándose mayores caudales y volúmenes escurridos durante las precipitaciones y pérdidas en el flujo base. Esta alteración se puede apreciar en las curvas de frecuencia y curvas de duración de flujo previas y posteriores al proceso de urbanización (Nehrke y Roesner, 2004; Rohrer y Roesner, 2006). Estos cambios no sólo generan eventos de inundación urbana, sino que también se traducen en impactos radicales, pero más silenciosos, sobre los cursos y cuerpos receptores, y los ecosistemas que en ellos se desarrollan (i.e., erosión y sedimentación de cauces, lavado de contaminación difusa urbana, colapso frecuente de sistemas unitarios, etcétera) (Akan and Houghtalen, 2003; UDFCD, 2013). De hecho las mayores diferencias de caudales y frecuencias de ocurrencia con respecto a la situación natural se dan justamente para las lluvias más pequeñas y frecuentes (Roesner *et al.*, 2001; Nehrke y Roesner, 2004). Por lo tanto son éstas las que principalmente producen los impactos ambientales previamente descritos, a pesar que no generan comúnmente grandes inundaciones y daños sobre personas e infraestructura.

Políticas del drenaje urbano

La consideración de los fundamentos del drenaje urbano previamente identificados dan paso al desarrollo de políticas para la gestión de las aguas lluvias, estructuradas en torno a una política central guía: *mantener o recuperar cada componente del ciclo hidrológico a su nivel natural, a la vez que se considere las aguas lluvia como un recurso que puede contaminarse y afectar cursos y cuerpos receptores, no como un residuo ni como una amenaza en sí misma*. El apego a esta política asegura en gran medida la correcta gestión de las aguas lluvia y el control de los múltiples problemas causados por ellas. Operativamente, se proponen las siguientes políticas específicas que guían el desarrollo de las múltiples actividades del drenaje urbano a distintas escalas espaciales, incluyendo: (1) confección, actualización y modificación de PM, (2) proyectos de mitigación y mejoramiento

en urbanizaciones existentes, (3) proyectos de drenaje urbano para urbanizaciones futuras:

1. La planificación, diseño y gestión de sistemas de aguas lluvias son actividades integrales a realizarse a nivel de cuenca, trascendiendo divisiones administrativas y abordando el proceso desde aguas abajo. Así se evita transferir los problemas hacia aguas abajo y se favorece la sostenibilidad de las soluciones a largo plazo.
2. En los nuevos desarrollos urbanos se debe mantener o reducir las tasas y volúmenes de escorrentía superficial y cargas de contaminantes a los niveles pre-existentes, tanto durante la fase de construcción como de funcionamiento.
3. Un sistema integral de drenaje considera en lo posible: (1) control local domiciliario, (2) retención local en suelo público, (3) transporte superficial lento, (4) almacenamiento a mayor escala en suelo público, y (5) conducción controlada a través de elementos de transporte y su posterior descarga a cursos y cuerpos receptores.
4. La red de drenaje natural debe ser respetada al urbanizar, pasando a ser parte de la red de drenaje urbano. Se debe evitar ocupar la zona de inundación de $T=100$ años, permitiéndose el movimiento lateral propio de cauces dentro de ésta, y velándose por su integridad geomorfológica.
5. Todo territorio urbano existente o considerado en la planificación territorial debe contar con un PM vinculante con los IPTs que considera la o las cuencas relacionadas. El PM debe incorporar explícitamente (1) aspectos relevantes de la gestión y planificación territorial, (2) la zona de inundación de $T=100$ años de los cauces y quebradas en el medio urbano, (3) la definición y caracterización de la red primaria, y (4) las condiciones de descarga y evacuación de las redes secundarias y domiciliarias.
6. Las nuevas redes de aguas lluvias deben ser independientes y estar desconectadas de las de aguas servidas, a menos que técnicamente se justifique.
7. El drenaje urbano debe buscar minimizar las disfuncionalidades, trastornos y efectos ambientales causados por las lluvias frecuentes, y proveer una gestión segura de las inundaciones menos frecuentes, para evitar pérdidas humanas y de infraestructura. Las obras elegidas para este propósito no deben ir en desmedro del paisaje urbano.

8. La gestión de aguas lluvias debe minimizar el impacto de la escorrentía en la calidad de los cuerpos receptores superficiales y subterráneos, y su integridad ambiental.

9. El sistema de gestión de aguas lluvia y sus distintos elementos deben conservarse periódicamente para garantizar el nivel de servicio considerado en el diseño.

La Política 1, muy ausente en la planificación y gestión de las aguas lluvias, es esencial para un sistema de drenaje sostenible. Ésta busca cambiar el antiguo paradigma de evacuación rápida con colectores que drenan a elementos mayores de conducción, los que se vuelven obsoletos al aumentar las contribuciones desde aguas arriba. Por el contrario, un nuevo paradigma basado en la gestión desde aguas abajo permite reducir los riesgos de inundación y utilizar eficazmente la red de drenaje natural y su zona de inundación. Esto se logra imponiendo condiciones de descarga desde los cursos y cuerpos receptores hacia aguas arriba, hasta la escala local. Así se favorece la integración espacial de diversas técnicas de almacenamiento, infiltración y conducción, y en particular el uso de obras locales compatibles con el paisaje urbano y con usos alternativos de áreas verdes o recreación, conocidas como Técnicas de Drenaje Urbano Sustentable o *Low Impact Development* (UDFCD, 2013). Finalmente, este esquema de gestión permite definir similares restricciones a la calidad de las descargas desde aguas arriba, permitiendo eventualmente incorporar objetivos de calidad de agua en el drenaje urbano como se hace en países desarrollados (Dodson, 1999).

Las políticas 7 y 8 justamente abordan el problema de la contaminación de cursos receptores por lavado de contaminantes y descargas de sistemas unitarios. Con tal propósito, se introduce el concepto de volumen de captura (VC), definido como una fracción significativa de la escorrentía promedio anual (i.e., 80% – 90%) a ser controlada por infiltración o retenida y liberada en un periodo extendido de tiempo (6 – 40 h) (UDFCD, 2001; WEF-ASCE, 1998). La retención de este volumen permite controlar la mayoría de las tormentas o al menos la porción inicial más contaminada de los eventos de escorrentía mayores, conocida como lavado inicial o *first flush* (Stenstrom and Kayhanian, 2005; Froehlich, 2009). De esta manera, se actúa sobre el volumen de la escorrentía anual responsable de una porción significativa de la con-

taminación difusa urbana y de un gran número de vertidos de redes unitarias. La precipitación para el cálculo del VC ha sido calculada para distintas ciudades y zonas de Chile (MOP-DOH, 2013; Padilla, 2014).

Beneficios del drenaje urbano sostenible

La planificación y gestión sostenible del drenaje urbano genera varios beneficios que trascienden el control de inundaciones y sus impactos. Un sistema de drenaje bien planificado y gestionado está típicamente asociado a un ordenamiento y crecimiento territorial armonioso y regulado, lo que significa beneficios comunes a ambas actividades. Estos beneficios tienden a ser más relevantes al incluirse la visión de la ingeniería civil, ambiental y de transporte, hidrología, urbanismo y arquitectura, sociología, derecho, salud pública, economía, geografía, ecología, paisajismo, etcétera. Parte de estos beneficios son: (1) menores problemas de interacción entre zonas ubicadas aguas arriba y aguas abajo; (2) reducción de costos de construcción y mantenimiento de calles e infraestructura; (3) mejoras en el tráfico vehicular; (4) mejoras en la calidad de la escorrentía urbana y de los cuerpos receptores, así como en la salud pública; (5) protección y mejora de zonas ambientalmente sensibles; (6) disponibilidad de más espacios abiertos y áreas verdes a menores costos; (7) comportamien-

to sustentable del acuífero después de urbanizar; (8) potenciamiento y mejora de iniciativas donde el drenaje es un insumo (programas de renovación, de salud pública y recreación, de infraestructura vial, etcétera).

Diseño de redes de drenaje urbano

El sistema de drenaje urbano es un sistema global formado por 4 redes convergentes: la red domiciliaria, secundaria, primaria y natural. En el diseño de estas redes se busca organizar sus elementos y obras para cumplir con los objetivos globales del sistema considerando sus condiciones de operación. Para cada red se debe identificar de manera explícita: (a) sus requisitos de funcionamiento y de descarga hacia aguas abajo, (b) las lluvias de diseño para el dimensionamiento y control de operación, (c) la organización y dimensionamiento de sus elementos, (d) las obras para cumplir con los requisitos de funcionamiento y descarga. La Tabla 2 muestra la relación entre las redes, los principales actores y responsables, sus elementos propios y ejemplos de obras de drenaje típicas. Adicionalmente, se definen sus objetivos en función de la política 3 previamente descrita.

Diseño de la Red Local o Domiciliaria

La red domiciliaria es el sistema de drenaje al interior de los predios privados aguas arriba del sistema público (e.g., establecimientos, viviendas, condominios) que recibe 60 - 80% del agua precipitada, teniendo un alto impacto en el conjunto urbano (Figura 4). El sistema de drenaje en esta red debe ser diseñado, construido, operado y conservado por los particulares, teniéndose en cuenta las condiciones del PM, ordenanzas y disposiciones municipales, las indicaciones del MINVU y el IPT de la zona. Se propone, además, al menos cumplir las condiciones de diseño definidas en la Tabla 1, donde destaca el control del Volumen de Captura, al igual que para la red secundaria.

Diseño de la Red Secundaria

El PM define la red secundaria como aquella ubicada aguas arriba de la red primaria, cuya función es controlar las aguas recibidas de las urbanizaciones y predios y, eventualmente, descargarlas a la red primaria. Junto con las descargas de la red domiciliaria, esta red recibe directamente entre 20 - 40% del agua precipitada, principalmente sobre calles y veredas

Figura 4. Identificación de las redes domiciliaria (rosado), secundaria (amarillo), primaria (verde) y natural (azul) en un ambiente urbano



Tabla 2. Organización de las redes de drenaje urbano, elementos propios y obras complementarias típicas

	Redes			
	Domiciliaria	Secundaria	Primaria	Natural
Responsables y actores principales	Particulares, inmobiliarias constructores	MINVU, municipios inmobiliarias, EE.SS ¹	MOP, EE.SS.	MOP, MBN ² , DGA ³
Elementos propios	Techos, pavimentos, patios	Calles, áreas verdes, veredas, estacionamientos	Cauces, parques, plazas	Ríos, lagunas, zonas inundables
Objetivos	Control local domiciliario	Transporte lento, y almacenamiento en suelo público	Almacenamiento en suelo público, conducción controlada y descarga a red natural	Cuerpos receptores
Obras de drenaje				
Infiltración	Techos verdes, jardines de lluvia, pozos	Pavimentos permeables, pozos, estanques, zanjas		
Almacenamiento	Barriles, estanques pequeños	Estanques, lagunas	Estanques, lagunas, humedales	
Conducción	Canaletas y canales, bajadas de aguas	Cunetas, sumideros, zanjas, colectores	Cauces urbanos, canales, colectores, descargas	Ríos, esteros, lagunas, lagos, mar.
Condiciones de diseño				
Control interno	No inundar viviendas para tormentas de 100 años. No inundar pavimentos exteriores para tormentas de 2 años	No sobrepasar el nivel de la solera para lluvias de 100 años. Ancho máximo de inundación en calles limitado para lluvias de 2 años.	No generar inundaciones para lluvias de 100 años. No causar molestias para lluvias de 2 años	No aumentar zona de inundación para lluvias de 100 años. No urbanizar zonas de riesgo. Controlar efectos de calidad.
Condiciones de descarga	Retener y disponer del volumen de captura. Caudal máximo a descargar según el PM	Retener el volumen de captura de toda la zona drenada. Caudal máximo a descargar según el PM	Controlar impactos de calidad y cantidad. Caudal máximo a descargar según el PM	

¹ Empresas Sanitarias, ² Ministerio de Bienes Nacionales, ³ Dirección General de Agua

(Figura 4). Luego, prácticamente toda la escorrentía urbana puede ser gestionada, al menos parcialmente, por esta red. Un elemento típico de la red secundaria son los sumideros, los que retiran escorrentía y la traspasan hacia otras obras de drenaje. Estas obras pueden no sólo ser elementos de conducción subterráneos, sino conducciones superficiales y elementos de infiltración o almacenamiento, que proporcionan una retención y/o transporte lento de la escorrentía.

Diseño de la Red Primaria y su descarga a cauces y cuerpos receptores

La red primaria definida en el PM es la red central del sistema de drenaje urbano que dispone la escorrentía proveniente de las redes domiciliaria y secundaria hacia los cursos y cuerpos de agua receptores (ríos, lagos y mar). Si bien esta red cuenta con elementos de transporte artificiales, es primordial que también incluya la red de drenaje natural, así como elementos de regulación (e.g., lagunas, estanques, humedales). Por desgracia, grandes obras de elevados costos y vida útil limitada (e.g., colectores, canales artificiales, etcétera) han reemplazado típi-

camente el sistema dendrítico de quebradas, cauces y ríos, que en forma natural convergen hacia grandes cuerpos de agua. Esto es evitable en la medida que desde aguas abajo se limiten los caudales y volúmenes de escorrentía desde aguas arriba, adoptándose técnicas de infiltración y almacenamiento y no simplemente elementos de conducción. La planificación territorial, en conjunto con el PM, también condiciona las características de la red primaria, su costo, capacidad y funcionamiento, ya que es ella la que permite implementar un conjunto de medidas no estructurales que limitan la ocupación del sistema natural de drenaje y sus zonas de inundación.

Desafíos del drenaje urbano en Chile

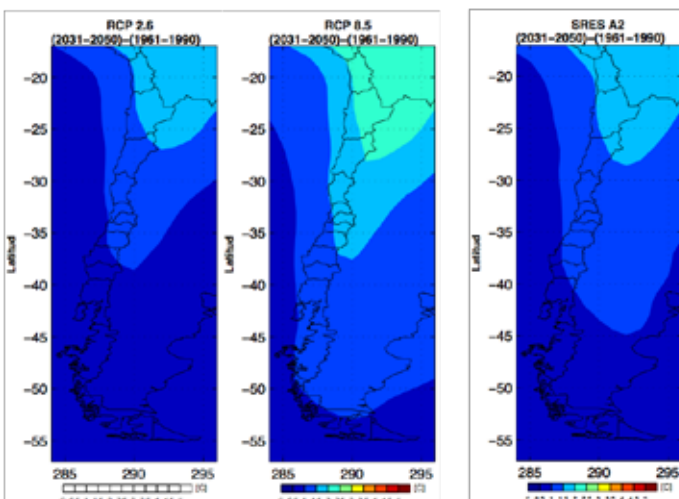
La implementación y desarrollo de una nueva forma de hacer drenaje urbano significa un paso importante en la gestión integrada de las aguas urbanas y de las cuencas donde se encuentran las ciudades. A la creación y mejora de instrumentos normativos del drenaje urbano para potenciar este nuevo desarrollo, se agregan otros desafíos:

- Mejorar la información hidrometeorológica y su caracterización para las aplicaciones de diseño y análisis. En particular se hace relevante conocer mejor la variabilidad espacio temporal de los eventos de precipitación y definir series continuas de éstas.
- Definir la zona de inundación de cauces, lo que sirve como un insumo esencial a la gestión desde aguas abajo ya descrita.
- Utilizar herramientas de modelación distribuidas y de simulación continua, que permitan simular y comprender mejor el funcionamiento hidrológico y ambiental de todo el sistema urbano y sus componentes, y facilite su gestión.
- Implementación y monitoreo de casos piloto, de modo de validar y/o mejorar los diseños de las obras de drenaje y de entender su interacción con la comunidad.
- Incorporar formalmente aspectos de calidad de agua donde se considere como un evento de contaminación la descarga de escorrentía urbana y los vertidos de sistema unitarios. Esto daría pie a una planificación y gestión más completa del drenaje urbano.
- Potenciar el rol de la realidad local en la definición de metas específicas en el PM, de manera de alcanzar una sana situación donde se empleen “herramientas globales para problemas locales”
- Educar a la comunidad para que conozca la problemática del drenaje urbano y entienda el funcionamiento, objetivo y beneficios de las distintas obras. La comunidad es usuaria, beneficiaria y, de algún modo, primer responsable de estas obras.

4. Cambio climático y seguridad de abastecimiento

Geográficamente, la mitad de la superficie del territorio nacional de Chile Continental se asocia a proyecciones de cambio climático relativamente severas. Desde el punto de vista demográfico, aproximadamente 50% de la población nacional, un poco más de 8 millones de personas, viven en ciudades ubicadas en zonas donde las proyecciones de cambio climático indican no sólo un aumento de temperaturas, sino una disminución significativa de precipitaciones hacia la segunda mitad del Siglo XXI. Esta situación se superpone a otros procesos de cambio acelerado tales como el incremento en la población urbana, la pérdida de suelos agrícolas y la urbanización de zonas precordilleranas, para resultar en un escenario donde es posible prever cambios importantes en las condiciones hidrológicas que determinan tanto el acceso a fuentes de abastecimiento de aguas, como también el grado de exposición de la población a eventos hidrometeorológicos extremos que afectan la calidad de vida de las personas, la confiabilidad de sistemas urbanos de infraestructura, y la provisión de servicios públicos sanitarios y de transporte, entre otros. Las figuras 5 y 6 muestran las proyecciones de temperatura y precipitación para Chile en la segunda mitad del Siglo XXI (Ministerio de Medio Ambiente, 2013). Se aprecia que, en términos de temperatura, se proyecta un calentamiento más severo en la zona norte de Chile, con aumentos del orden de 2°C respecto del promedio histórico. Respecto de la precipitación, las zonas extremas norte y sur no presentan cambios importantes, pero se aprecian disminuciones del orden de un 15-30% en la precipitación media anual para la región comprendida entre Copiapó (Latitud 27° S) y Puerto Montt (Latitud 41°S). Es importante recalcar que estas estimaciones provienen de un promedio de varios modelos globales de circulación general (GCM), y que proyecciones de modelos individuales varían entre sí; sin embar-

Figura 5. Proyecciones de cambio de temperaturas medias anuales respecto del período histórico (1991-1990), para tres escenarios de emisiones: RCP 2.6, RCP 8.5 y SRES A2



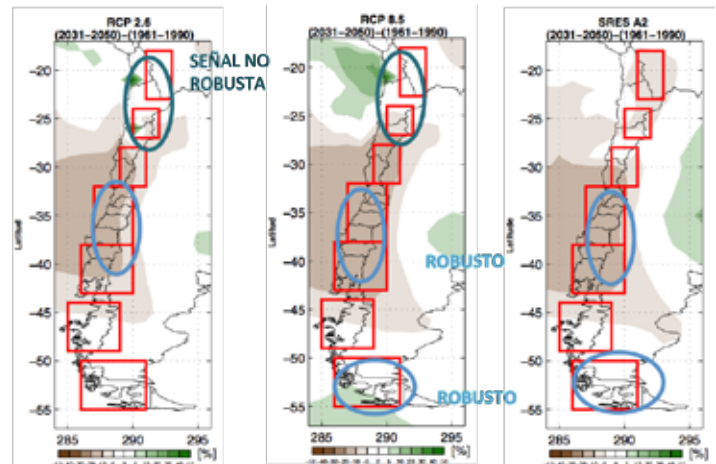
Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2013.

go, todos los modelos disponibles utilizados en este análisis⁵ proyectan una disminución de las precipitaciones hacia el fin de la primera mitad del Siglo XXI, lo que agrega un nivel de confiabilidad a estas proyecciones y permite usarlas como supuestos base para análisis de las consecuencias sobre temas hídricos y para la evaluación de medidas de adaptación.

Se han realizado diversos estudios para comprender la magnitud y los efectos de los cambios proyectados del clima sobre diversas actividades humanas. A nivel urbano, McPhee *et al.* (2014) presentan un análisis específico para la ciudad de Santiago, basado en el análisis de las proyecciones a resolución temporal diaria de 10-15 modelos de circulación general (dependiendo de la variable estudiada) con los escenarios climáticos A2 y B1, presentados en el IV reporte del IPCC. Se efectuaron proyecciones para el período 2045-2065 en varias ubicaciones donde actualmente existen estaciones meteorológicas, a partir de técnicas de escalamiento espacial y temporal. Desde el punto de vista de las temperaturas, se confirman las tendencias al alza de temperaturas medias, máximas y mínimas, con desviaciones mensuales entre 1.5 y 2°C. En algunos casos las desviaciones son más importantes en los meses de invierno y primavera (junio a noviembre), mientras que se observa menor calentamiento en los meses de otoño.

Un análisis simplificado permitió a McPhee *et al.* (2014) estimar cambios en la posición de la isoterma 0°, resultando en ascensos de aproximadamente 100 m en el promedio mensual de este parámetro durante los meses de invierno. Garreaud (2013) presenta un análisis de las tormentas cálidas en Chile Central, y muestra que para algunos eventos históricos un ascenso de la isoterma 0°C hasta los 4 mil m.s.n.m. tiene el potencial de quintuplicar el volumen de escorrentía potencial durante la tormenta. Para la cuenca alta del Río Maipo, que drena hacia Santiago, un ascenso de 100 m en la isoterma promedio durante días lluviosos podría aumentar 50% el volumen potencial de escorrentía promedio durante dichos eventos. Este análisis es preliminar y debe complementarse con otros estudios, pero da cuenta de las amenazas por inundaciones que podrían esperarse en virtud del cambio climático, que se complementa con el análisis de precipitaciones a continuación.

Figura 6. Proyecciones de cambio de precipitaciones medias anuales respecto del periodo histórico (1991-1990), para tres escenarios de emisiones: RCP 2.6, RCP 8.5 y SRES A2



Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2013.

En cuanto a las precipitaciones, se verifica también una disminución en el promedio anual, aunque la incertidumbre entre modelos es suficientemente grande de manera tal que en la mayoría de los casos los valores históricos quedan contenidos dentro del rango de variación esperado. En promedio para las estaciones meteorológicas analizadas por McPhee *et al.* (2014), la reducción en precipitación media anual para el período 2045-2065 es de 25% (Figura 7).

Un aspecto que vale la pena destacar del análisis presentado en dicho estudio se refiere al cambio en la distribución de frecuencias del número de días con precipitaciones diarias ubicadas en distintas clases. Se agruparon los eventos de precipitación de acuerdo a la lluvia acumulada en períodos de 24 horas. De este análisis, se desprende que la disminución de precipitaciones totales anuales proyectada por los modelos futuros se expresa, fundamentalmente, como una disminución en la frecuencia de días con precipitaciones poco intensas o moderadamente intensas (precipitación diaria < 30 mm). En cambio, la frecuencia de días con precipitaciones más intensas (precipitación diaria > 30 mm) se mantiene aproximadamente constante según las simulaciones climáticas en escenarios futuros (Figura 8).

Los cambios hidrológicos que es posible prever dependerán por cierto de las condiciones locales de cada ciudad y su cuenca hidrográfica aportante. Es más, el grado de severidad del impacto de los cam-

5. 21 Modelos Generales de Circulación, incluidos en el estudio CMIP5 (<http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/>)

bios hidrológicos sobre el sistema de aguas urbanas en cada caso es función de la severidad de los cambios hidrológicos, combinado con la naturaleza de las medidas de adaptación que cada ciudad pueda implementar. Por ejemplo, para la ciudad de Santiago, Meza *et al.* (2014) mostraron, a partir de un ejercicio de modelación numérica, que la disminución de suministro promedio en los sectores sanitario y agrícola es modesta, incluso para escenarios de fuerte disminución de las precipitaciones. Por ejemplo, para escenarios de disminución de precipitaciones de 40%, la disminución del suministro promedio en una ventana de 30 años sería de aproximadamente 10% para los sectores sanitario y agrícola (con el sector agrícola sufriendo las mayores disminuciones en suministro). Por otro lado, el suministro mínimo en la misma ventana de tiempo se ve más impactado que el promedio. Así, por ejemplo, escenarios con reducción de 20% en la precipitación promedio anual conllevan 25% y 50% de reducción en el suministro anual mínimo de los sectores sanitario y agrícola respectivamente.

Adaptación al cambio climático de los Sistemas de Agua Urbanos: contexto y ejemplo de la ciudad de Santiago de Chile

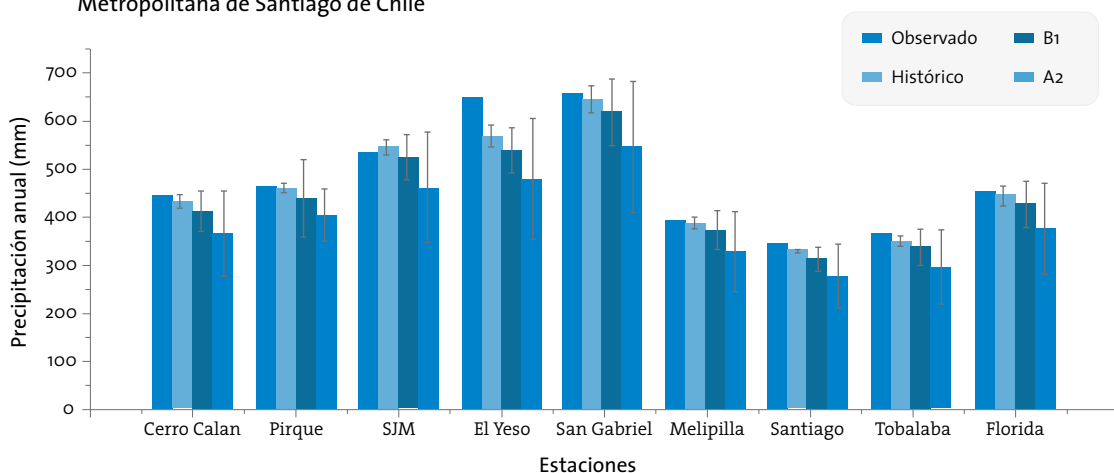
La adaptación al cambio climático requiere primero de abordar una serie de preguntas estructurales que ayuden al diseño de opciones de adaptación y al proceso de implementación de estas opciones. La

primera pregunta tiene que ver con la necesidad de adaptación. ¿Por qué necesitan adaptarse los Sistemas de Agua Urbanos (SAU)? Un concepto clave para responder a esta pregunta es el de Seguridad Hídrica. De manera resumida, los SAU tienen que adaptarse cuando haya un evento climático que amenace la Seguridad Hídrica. Esta adaptación debe ya sea preservar o mejorar la Seguridad Hídrica dentro de los límites de la urbe, idealmente sin causar perjuicios a otros usuarios (productivos o no) del agua dentro de la cuenca. Superado ese primer problema, una segunda pregunta clave es sobre el proceso de adaptación en sí. ¿De qué manera los SAU podrían adaptarse? Esta segunda pregunta podría a su vez desglosarse en una serie de preguntas tales como: ¿Cuáles son las opciones disponibles para lograr la adaptación? ¿Quién debe adaptarse? ¿Cuándo debe ocurrir esta adaptación? Y, finalmente, ¿cómo podemos lograr mejor la implementación de este proceso de adaptación?

La seguridad hídrica y la necesidad de adaptarse

El impacto del cambio climático en los SAU puede ocurrir en las dos dimensiones principales que tiene el agua en las ciudades: el agua como recurso y el agua como una amenaza. Como recurso, la disponibilidad de agua de buena calidad es la base del bienestar y modo de vida de los habitantes de una ciudad, así como de numerosas actividades económicas que se desarrollan en y alrededor de ciudades, entre

Figura 7. Proyecciones de cambio de precipitaciones medias anuales en estaciones meteorológicas de la Región Metropolitana de Santiago de Chile



Fuente: McPhee *et al.* 2014

ellas, la agricultura periurbana, las industrias de alimentos y bebidas, y otras actividades industriales. Mientras tanto, el exceso o escasez de agua puede dar lugar a amenazas tales como la concentración de contaminantes (con consecuencias negativas para la salud), la falta de flujo de agua adecuado para los sistemas de alcantarillado y los daños activos físicos relacionados con inundaciones.

¿Cómo pueden adaptarse los Sistemas de Agua Urbanos?

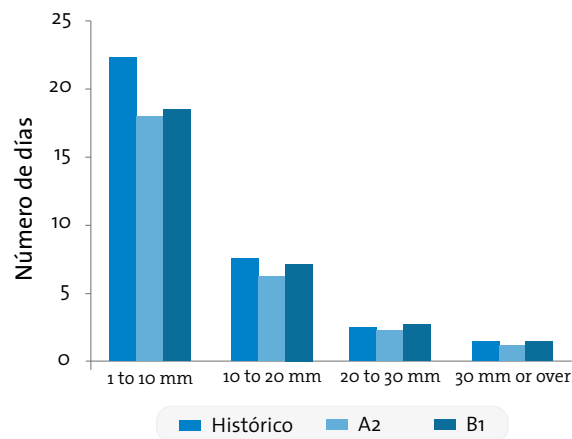
Asumiendo la necesidad de adaptar, entonces el problema se trata de decidir cómo lograr esta adaptación. Para responder a esta pregunta es importante considerar las diferentes opciones disponibles y, una vez que se tome una decisión acerca de cuáles son las mejores, es necesario diseñar la etapa de implementación de las medidas incluyendo aspectos de financiamiento, el rol de los distintos actores involucrados y los momentos en que las medidas deben ser implementadas.

Utilizando el marco de Seguridad Hídrica se pueden reconocer diferentes opciones de adaptación para hacer frente al aspecto particular de seguridad que se encuentra bajo amenaza debido al cambio climático. En términos por ejemplo de acceso a cantidades adecuadas de agua nos encontramos con opciones que tienen que ver con el suministro de agua tales como transferencias de agua entre sectores, re-uso, construcción de obras de almacenamiento, mejoras en los sistemas de distribución.

Por otra parte también es posible redefinir lo que se entiende como la cantidad “adecuada” de suministro de agua incorporando opciones que alteran la demanda de agua sin reducir el bienestar o utilidad productiva alcanzada por el consumo de agua. Medidas en este sentido se asocian a cambios en los comportamientos producto de efectos en tarifas, campañas de concientización o cambios regulatorios que pueden alterar la disponibilidad de tecnologías o afectar las prácticas de consumo.

En relación con el suministro de agua el tipo de opciones disponibles va a depender de la posición relativa de las ciudades dentro de una cuenca (Vicuña *et al.*, 2014). Por ejemplo, una ciudad ubicada cerca de la cabecera de una cuenca tiene un número limitado de opciones asociadas, por ejemplo, a transferencia de agua de otros sectores usuarios de agua o cons-

Figura 8. Cambio en la distribución de precipitaciones diarias en la estación meteorológica Quinta Normal, ubicada en el centro de Santiago de Chile



Fuente: McPhee *et al.*, 2014.

trucción de obras de almacenamiento. Ciudades en zonas costeras pueden recurrir a ese tipo de opciones, pero adicionalmente pueden también recurrir a opciones como desalinización o transferencias de agua desde otras cuencas.

La ciudad de Santiago de Chile es un buen ejemplo de aquellas ciudades que cuentan con capacidades limitadas de medidas de adaptación debido a su ubicación cercana a la cordillera. Santiago es la ciudad más grande de Chile, siendo el hogar de alrededor de 7 millones de personas produciendo casi 40% del PIB total de la nación. El uso del agua en Santiago es principalmente residencial, representando 73% del consumo total (SISS, 2009). El consumo medio por habitante en Santiago es de 150 L/día, aunque el consumo puede alcanzar más de 600 L/día cuando se consideran barrios de ingresos altos. El consumo restante se asocia con usos industriales, comerciales, parques y otros usos. Con respecto a las fuentes de suministro de agua, la ciudad de Santiago está situada en una región de clima mediterráneo semiárido al pie de la Cordillera de Los Andes, siendo la cuenca del Río Maipo la principal fuente de abastecimiento de agua (80%) para la ciudad. Adicionalmente, la ciudad depende de la extracción de agua subterránea para cubrir 20% de las necesidades restantes y opera un embalse en cordillera para poder gestionar las diferencias entre oferta y demanda de agua que ocurren dentro y entre años.

Al igual que en otras cuencas de la zona central de Chile (Vicuña *et al.*, 2010) y como fuera presentado en detalle con anterioridad, la ciudad de Santiago se enfrenta, además de la presión para cumplir con las demandas de una ciudad en crecimiento, a los impactos potenciales del cambio climático. Para hacer frente a las consecuencias de esta condición de suministro de agua complejo, una serie de opciones de adaptación han sido estudiadas por Bonelli *et al.* (aceptado). Una opción es reducir las ineficiencias en la distribución y consumo de agua. En la actualidad, casi 30% de las extracciones de agua superficial no llegan a los consumidores finales, sobre todo como consecuencia de fugas de tuberías subterráneas. Por lo tanto, una forma de mejorar la eficiencia es mediante la mejora de la infraestructura de red. La eficiencia también podría abordarse desde un enfoque basado en la demanda, por ejemplo, a través de políticas que fomenten la conservación y el consumo eficiente del agua doméstica. Según estimaciones, un aumento en la eficiencia de más de 20% se puede lograr con la instalación a corto plazo de accesorios y electrodomésticos eficientes en los hogares y oficinas (Observatorio de Ciudades, 2009).

Al considerar una perspectiva de cuenca la principal opción disponible que tiene la ciudad es aumentar la proporción de derechos de agua que posee la empresa sanitaria que distribuye agua a la ciudad en relación con los derechos que posee el sector agrícola. Las empresas de agua actualmente poseen 25% de la cantidad total de derechos de agua para el Río Maipo. Según Bonelli *et al.* (aceptado), esta participación debería alcanzar 40% para el año 2050 para hacer frente a los impactos del cambio climático y el crecimiento demográfico. La transferencia de derechos de agua desde el sector agrícola al urbano ha sido una de las principales estrategias que la ciudad ha utilizado para suplir las crecientes necesidades de una ciudad que en los últimos

40 años ha visto duplicada su superficie y aumentado su población desde 3 a cerca de 7 millones de personas. Pese a que la superficie total agrícola en la cuenca se ha mantenido relativamente constante, el consumo total de agua ha disminuido con el tiempo gracias a un progresivo aumento de la eficiencia de riego a partir de la introducción de nuevas tecnologías. A modo de ejemplo la superficie de riego por goteo representaba menos de 10% de la superficie total de regadío en el año 1997, aumentando a más de 30% en el año 2007 (INE 1997-2007). La mayoría de estos ahorros de agua se han transferido, mediante venta de derechos de aprovechamiento, a los servicios de agua en el sector urbano. Los derechos de agua son una característica peculiar del sistema de agua de Chile que otorga la propiedad privada de agua, independientemente de su uso previsto y propiedad de la tierra (Vicuña y Meza, 2012). La compra de derechos de agua son una de las principales nuevas fuentes de agua que las empresas de agua de la ciudad han estado usando históricamente para dar cabida a su creciente población y las condiciones secas prevalentes (ANDESS, 2014). La eficiencia de riego global en la cuenca sigue siendo baja (en torno a 50%) por lo que es posible pensar que esta estrategia de transferencia de agua podría continuar profundizándose para suplir los posibles déficits en suministro debido al cambio climático.

Para evaluar las diferentes medidas de adaptación que puede abordar el sector urbano y los otros usuarios del agua en la cuenca del Río Maipo se está desarrollando el proyecto MAPA (Maipo: Plan de Adaptación) que tiene como objetivo Articular el Desarrollo de un Plan de Adaptación a la Variabilidad y el Cambio Climático en la cuenca del Río Maipo. Mayor información de este proyecto que cuenta con financiamiento del International Development Research Center (IDRC) se puede encontrar en el siguiente sitio web <<http://maipoadaptacion.cl/>>.

5. Conclusiones

En las últimas cuatro décadas, el sector hídrico urbano de Chile ha mostrado grandes avances en cuanto a cobertura y calidad de aguas, así como en el nivel de tratamiento de las aguas residuales en los últimos 15 años. Este avance ha sido ayudado por la estabilidad económica del país y por políticas públicas que han privilegiado la gestión descentralizada de los servicios sanitarios. No obstante se han verificado mejoras en la eficiencia de gestión de las empresas sanitarias, las teóricas reducciones en tarifas que esto debería acarrear no se han verificado. La población de menores recursos económicos es sujeto de subsidios cruzados que ayudan a paliar la situación y que han dado viabilidad a las políticas privatizadoras implementadas en los últimos años. Asimismo, la robustez del sistema de suministro de muchas ciudades se ha visto favorecido por la posibilidad de adquirir derechos de aprovechamiento de agua a otros usuarios, lo que en la práctica ha significado transferencias desde el sector agrícola al sector urbano.

A pesar de los avances antes descritos, subsisten importantes desafíos que es necesario abordar. En algunas regiones, la irrupción del sector industrial y minero ha significado una amenaza por la transferencia de aguas hacia esta actividad, aunque en el caso de las grandes ciudades del norte de Chile, han existido acuerdos institucionales que han permitido asegurar el suministro doméstico. En la zona central, empresas como Aguas Andinas y ESVAL han logrado una alta cobertura y confiabilidad, e incluso en situaciones de sequía como la vivida por Chile

desde el año 2011, no se han producido problemas de suministro para la gran mayoría de la población. Una situación que preocupa es la de pequeñas localidades periurbanas, que muchas veces cuentan con sistemas locales de suministro no adscritos a las grandes empresas regionales y que muestran mucha más vulnerabilidad a sequías y otras interrupciones de suministro. En algunos casos estas localidades han debido ser auxiliadas mediante camiones aljibe, con deterioros muy importantes en la calidad de vida de la población.

La gestión de aguas lluvias en Chile sigue teniendo como eje fundamental la construcción de grandes obras de infraestructura para la evacuación de las aguas, mientras que la inversión en obras de detención e infiltración ha sido menor. Asimismo, medidas no estructurales como mejor planificación territorial están subrepresentadas, en parte por conflictos y vacíos en la definición de competencias de varios entes gubernamentales.

Finalmente, las perspectivas de cambio climático que se vislumbran para una parte importante del territorio de Chile sugieren que se debe avanzar decididamente en una agenda de adaptación a nivel nacional, que procure preservar los niveles de suministro promedio actuales y que propenda a mejorar la robustez de los sistemas en periodos de sequía. Esta agenda de adaptación por cierto debe contemplar las realidades locales, pero debe estar guiada por principios comunes de confiabilidad y preservación de servicios ecosistémicos bajo el concepto de aumentar la seguridad hídrica global.

6. Agradecimientos

Los autores desean agradecer el apoyo de CONICYT a través de los proyectos FONDECYT 1131131, 1130936 y 1121184, y de los proyectos FONDAP 15110020, 15110017 y 15130015.

7. Referencias


- Ahumada, G. (2014). Tratamiento de agua potable: estado actual en Chile. Seminario Avances y desafíos en la problemática del arsénico en aguas de Chile y el mundo. Universidad de Chile. Universidad Católica y Ministerio de Obras Públicas.
- Akan, A. O. and Houghtalen, R. J. (2003). *Urban Hydrology, Hydraulics and Stormwater Quality*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- ANDESS (2013). Informe de gestión de la sequía 2014 industria sanitaria en Chile.
- Bertrand, A. (1908). Saneamiento de Santiago de Chile. Memoria presentada al ministerio del Interior sobre los antecedentes de la licitación y contratación del Alcantarillado actualmente en construcción.
- Bonelli, S., Vicuña, S., Meza, F., Gironás, J., Barton, J. Incorporating climate change adaptation strategies in urban water supply planning: The case of central Chile. *Journal of Water and Climate Change*. 5(3): 357-376.
- Brechner, R.J., Parkhurst, G.D., Humble, W.O., Brown, M.B., Herman, W.H. (2000). Ammonium perchlorate contamination of Colorado River drinking water is associated with abnormal thyroid function in newborns in Arizona. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 42, 777-782.
- Calderon, R., Palma, P., Parker, D., Molina, M., Godoy, F.A., Escudey, M. (2014). Perchlorate Levels in Soil and Waters from the Atacama Desert. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 66, 155-161.
- Cortes, S., Reynaga-Delgado, E., Sancha, A.M., Ferrecio, C., 2011. Boron exposure assessment using drinking water and urine in the North of Chile. *Science of the Total Environment* 410, 96-101.
- Dodson, R. D. (1999). *Storm Water Pollution Control - Municipal, Industrial and Construction NPDES Compliance*. New York: McGraw-Hill.
- Edwards, G., O. Cristi y C. Díaz (2012). The Effect of Regulation Uncertainty on Water-Right Prices: The Case of the Loa Basin in the Antofagasta Region of Chile. Documento de Trabajo N°421, Instituto de Economía, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- EPA <<http://water.epa.gov/drink/contaminants/unregulated/perchlorate.cfm>>
- Estelle L., Gironás, J., Fernández, B. (2012) Fundamentos del drenaje urbano e inundaciones. XII Jornadas Francisco Javier Domínguez. Valparaíso.
- Ferrecio, C., Sancha, A.M. (2006). Arsenic exposure and its impact on health in Chile. *Journal of Health Population and Nutrition* 24, 164-175.
- Froehlich, D. (2009). Graphical Calculation of First-Flush Flow Rates for Storm-Water Quality Control. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 135(1), 68-75.
- Fuentes, L. y Sierralta, C. (2004). Santiago de Chile, ¿Ejemplo de una reestructuración capitalista?
- Garreaud, R. "Warm winter storms in Central Chile." *Journal of Hydrometeorology* 14.5 (2013): 1515-1534.
- Granada, J., Godoy, D., Cerda, W. (2003). "Conversión de procesos en plantas de filtros abatidoras de arsénico para lograr residuales menores a 0.01 mg/l", Ponencia XV Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. AIDIS, Concepción, Octubre de 2003.
- INE (Instituto Nacional de Estadísticas) (2007). Resultados del VIII Censo Nacional Agropecuario.
- Instituto Nacional de Normalización (2005). Norma chilena oficial NCh 409/1. Agua potable- Parte 1: Requisitos. Santiago de Chile.
- McPhee, James, Gonzalo Cortés, Maisa Rojas, Lilian García, Aniella Descalzi, and Luis Vargas (2014). Downscaling Climate Changes for Santiago: What Effects can be Expected? *Climate Adaptation Santiago*, pp. 19-41. Springer Berlin Heidelberg.
- Meza, F. J., S. Vicuña, M. Jelinek, E. Bustos and S. Bonelli. Assessing water demands and coverage sensitivity to climate change in the urban and rural sectors in central Chile. *Jour, Water and Climate Change*. 05.2 (2014). doi: 10.2166/wcc.2014.019
- Ministerio de Obras Públicas-Dirección de Obras Hidráulicas (MOP-DOH) (2013). Manual de Drenaje Urbano.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) (1996). Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos – Guía de Diseño, Gobierno de Chile, Santiago, Chile.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) (2008). Guía de Diseño y Especificaciones de Elementos Urbanos de Infraestructura de Aguas Lluvias.

- Nehrke, S., Roesner, L.A. (2004). Effects of design practice for flood control and best management practices on the flow-frequency curve 130(2), 131-139.
- Observatorio de ciudades UC. Formulación Sello de Eficiencia Hídrica. (2009). <<http://documentos.dga.cl/OTR5402.pdf>> Accessed: 09 July 2013.
- Padilla, C. (2014). Determinación del volumen de captura para sistemas de bioretención de aguas lluvias urbanas en Concepción y Santiago. Informe de Memoria de Título para Optar al Título de Ingeniero Civil.
- Roesner, L.A., Bledsoe, B.P., Brashear, R.W. (2001). Are best-management-practice criteria really environmentally friendly? *Journal of Water Resources Planning and Management*, 127(3), 150-154.
- Rohrer, C.A., Roesner, L.A. (2006). Matching the critical portion of the flow duration curve to minimize changes in modelled excess shear. *Water Science and Technology* 54(6-7), 347-354.
- Sancha, A.M., 2006. Review of coagulation technology for removal of arsenic: Case of Chile. *Journal of Health Population and Nutrition* 24, 267-272.
- Stenstrom, M. K., Kayhanian, M. (2005). First Flush Phenomenon Characterization, California Department of Transportation Division of Environmental Analysis, CTSW-RT-05-73-02.6, USA.
- Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2009). Consumo de Agua Potable 2007-2008. 24 pp. Available at <<http://www.siss.gob.cl/577/w3-articulo-7663.html>> Last access: January 16, 1012
- Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) a. 2013. Informe anual de coberturas urbanas de servicios sanitarios 2013.
- Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) b. 2013. Informe de gestión del sector sanitario 2013.
- Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). 2014. Resultados calidad de agua potable año 2014
- Télliez, R.T., Chacón, P.M., Abarca, C.R., Blount, B.C., Van Landingham, C.B., Crump, K.S., Gibbs, J.P., 2005. Long-term environmental exposure to perchlorate through drinking water and thyroid function during pregnancy and the neonatal period. *Thyroid* 15, 963-975.
- UNICEF/WHO (2014). Progress on drinking water and sanitation, 2014 update. Switzerland, UNICEF; Geneva, World Health Organization <www.who.int/water_sanitation_health/publications/2014/jmp-report/en/> ISBN 978 92 4 150724 0
- Urban Drainage and Flood Control District (UDFCD) (2013). Urban storm drainage criteria manual, Denver, Colorado.
- United Nations (2014). World Urbanization Prospects The 2009 Revision, Highlights. Department of Economic and Social Affairs Population Division, United Nation.
- Valenzuela, S. y A. Jouravlev. Servicios urbanos de agua potable y alcantarillado en Chile: factores determinantes del desempeño. CEPAL – Serie Recursos Naturales e Infraestructura. ISBN: 978-92-1-323062-6. (2007)
- Vicuña, S., R.D. Garreaud and J. McPhee. (2010). Climate change impacts on the hydrology of a snowmelt driven basin in semiarid Chile. *Climatic Change* 105: 469-488.
- Vicuña, S. and F. Meza (2012). Los nuevos desafíos para los recursos hídricos en Chile en el marco del cambio global. Centro de Políticas Públicas UC. Temas de la Agenda Pública. Año 7 N° 55. Santiago, Chile. 14 p. Available at: <http://politicaspublicas.uc.cl/publicaciones/ver_publicacion/112>
- Vicuna S., Bonelli, S., Bustos, E., Uson, T. (2014). Beyond city limits: Using a basin perspective to assess urban adaptation to climate change: The case of the city of Santiago in Chile. Presented at RESILIENT CITIES 2014 CONGRESS.
- Water Environment Federation-American Society of Civil Engineering (WEF-ASCE) (1998) Urban Runoff Quality Management, Water Environment Federation, USA.
- World Health Organization Guidelines for drinking-water quality, fourth edition. 2011 <http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_guidelines/en/>

Colombia



Vista de Bogotá capital de Colombia. Al fondo el volcán Nevado del Tolima.
Foto: ©iStock.com/DmitryLityagin.



“El problema del agua en Colombia no es de cantidad sino de calidad. Las aguas residuales domésticas, la actividad agrícola y la minería de oro son los principales responsables de su deterioro. La oferta hídrica en el país supera los 2.000 km³ al año, y corresponde en promedio, a 57.000 m³ anuales por habitante. La agricultura demanda un 55% del agua y el uso doméstico un 29%. El resto del consumo está representado como energía hidroeléctrica y uso industrial. El gran desafío para Colombia es tratamiento de las aguas residuales que solo llega a un 3%”

El Agua Urbana en Colombia

Coordinadores

Claudia P. Campuzano Ochoa y Gabriel Roldán

Autores

**Claudia P. Campuzano Ochoa, Gabriel Roldán,
Andrés E. Torres Abello, Jaime Lara-Borrero,
Sandra Lorena Galarza-Molina, Juan Diego Giraldo Osorio,
Milton Duarte, Sandra Méndez Fajardo,
Luis Javier Montoya Jaramillo y Carlos Daniel Ruiz**

Resumen

Según el censo de 2013, Colombia tenía una población de 48.321.405 personas, lo que supone un incremento de 616.978 habitantes respecto de 2012, en que la población fue de 47.704.427 personas. La población femenina es mayoritaria, con 24.562.767 mujeres, lo que supone 50.83% del total, frente a los 23.758.638 hombres que son 49.16%. La densidad de población moderada, con 42 habitantes por Km², está en el puesto 57 en cuanto a densidad se refiere. La ubicación geográfica, la variada topografía y el régimen climático que caracterizan el territorio colombiano han determinado que éste posee una de las mayores ofertas hídricas del planeta. La oferta no está distribuida homogéneamente en todo el territorio. La oferta hídrica en el país supera los 2.000 km³ al año, y corresponde, en promedio, a 57.000 m³ anuales por habitante. En Colombia la cobertura de agua potable para las zonas urbanas en 2011 se estimó entre 96% y 87.3% y en la zona rural tan sólo alcanza 56.3%. Un estimativo del caudal de aguas residuales generado por los centros urbanos identifica que en Colombia se están arrojando a los cuerpos de agua cerca de 67 m³/s. Las enfermedades más comunes son el dengue, la malaria y las diarreas. El problema del agua en Colombia no es su cantidad, sino su calidad por el mal uso. Además, las basuras son una fuente de contaminación en muchas regiones del país, pues son depositadas directamente en las fuentes de agua o en sus orillas.

1. Introducción

En los últimos 50 años Colombia ha logrado establecer, con buenos resultados, un marco de gestión ambiental descentralizado e innovador que asigna funciones específicas a los múltiples actores participantes en la gestión ambiental; sin embargo, aún existen problemáticas que no ha sido posible erradicar.

El impacto de las actividades humanas en el medio ambiente amenaza el bienestar de las generaciones actuales y futuras. La deficiente calidad del aire en las zonas urbanas es el resultado de las emisiones industriales, comerciales, residenciales

y vehiculares; la insuficiencia del abastecimiento de agua, saneamiento e higiene, es el resultado de políticas de intervención poco contundentes y responsables; los desastres naturales responden no sólo a las amenazas naturales a las que estamos expuestos, sino a las intervenciones antrópicas que hemos realizado en nuestro territorio.

Aunque Colombia ha logrado avances significativos en materia ambiental, debe aún enfrentar el enorme reto de desacelerar y revertir la degradación ambiental que aún persiste en el país, cuyo impacto se ve enormemente marcado en las zonas urbanas.

2. Fuentes de agua y los impactos causados por la urbanización

Se espera que para el año 2030 alrededor de 60% de la población mundial habite zonas urbanas (United Nations, 2004), densificación que se ha reconocido como una posible fuente de consecuencias dramáticas en el ambiente debido principalmente a aumentos de las superficies impermeables en zonas densamente urbanizadas. Dichos aumentos afectan directamente la capacidad de infiltrar agua en el suelo, de almacenamiento y el transporte de flujos. Adicionalmente, el proceso de urbanización ha alterado la calidad de las aguas de escorrentía debido a la presencia de contaminantes químicos en los cuales se incluyen metales como zinc, cobre y plomo, compuestos orgánicos como hidrocarburos aromáticos policíclicos, herbicidas, pesticidas, fungicidas, y recientemente los residuos de fármacos que consume la población.

La ubicación geográfica, la variada topografía y el régimen climático que caracterizan el territorio colombiano, han determinado que éste posee una de las mayores ofertas hídricas del planeta, como se muestra en la Figura 1. Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM– (2008), a finales del siglo XX Colombia ocupaba el cuarto lugar en el mundo por disponibilidad per cápita de agua, mientras que de acuerdo con el informe de la ONU sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo “Agua para todos - agua para la vida”, Colombia ocupa el puesto 24 entre 203 países; este lugar aún hace figurar a Colombia como potencia hídrica mundial, muy a pesar de los problemas

actuales relacionados con el desabastecimiento de agua y la afectación de fuentes hídricas naturales. En efecto, la oferta no está distribuida homogéneamente en todo el territorio, y está sometida a fuertes variaciones que determinan la disponibilidad en el recurso hídrico en cada una de las regiones del país, las cuales se presentan en la Figura 2. Adicionalmente, el potencial hídrico se restringe en su aprovechamiento por una serie de factores antrópicos que generan efectos sobre el ciclo hidrológico y en particular en la calidad del agua. También lo afecta la forma de aprovechamiento que se caracteriza por el uso inadecuado y poco eficiente.

Según los estimativos del IDEAM en el Estudio Nacional del Agua (2008), la oferta hídrica en el país supera los 2.000 km³ al año, y corresponde, en promedio, a 57.000 m³ anuales por habitante. Así mismo, se estima que si se incorporan reducciones tanto por alteración de la calidad del agua como por regulación natural, se alcanza apenas una disponibilidad promedio de 34.000 m³ al año por habitante. Para las condiciones de año seco, este valor se reduce a un promedio de 26.700 m³ al año por habitante. El estudio del IDEAM (2008) permite confirmar que, pese a la situación relativamente favorable de oferta y disponibilidad hídrica del país, Colombia se caracteriza por una alta variabilidad espacial y temporal en la distribución de su recurso hídrico. Adicionalmente, las condiciones de cobertura vegetal, suelos, usos del suelo y características geológicas e hidrológicas de las cuencas colombianas son muy variadas y por ello el país cuenta con cuencas hidrográficas de diferente capacidad de regulación. Como se observa en la Figura 3, las regiones donde se encuentra la mayor oferta hídrica tiene los menores porcentajes de cabeceras municipales del país, mientras que donde no hay mucha agua, se encuentra asentada el mayor porcentaje de la población.

Esta variabilidad en la oferta de agua hace que se presenten señales de preocupación, e incluso de alarma, en algunos municipios y áreas urbanas, ya que no existe suficiente ordenamiento para el uso de los recursos hídricos. Los aprovechamientos del recurso para los acueductos urbanos, que se abastecen en general (más de 80%) de ríos pequeños, quebradas y arroyos, no cuentan en su mayoría con programas de protección de cuencas, sistemas de regulación y almacenamiento, transporte y tratamiento, ni con previsiones económicas para realizarlas.

Figura 1. Mapa hidrológico de Colombia



Figura 2. Mapa de regiones de Colombia



Colombia se ha convertido en un país urbano. Las dinámicas de configuración urbana se han mantenido constantes en los últimos años, por lo cual es de esperar que las actuales tendencias de concentración de población en asentamientos urbanos se mantengan, estimándose que para el año 2020 aproximadamente 80% de la población colombiana será urbana (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial –MAVDT–, 2008).

Si bien las áreas urbanas son vistas como expresión de oportunidades de desarrollo económico y social, también es cierto que la conformación del sistema urbano colombiano se ha dado con una escasa planificación ambiental o de consideraciones ambientales, lo que ha derivado en innegables costos para el medio ambiente, tanto por los desordenados procesos de ocupación, como por las fuertes demandas de recursos que conllevan (MAVDT, 2008).

Por otro lado, el desarrollo de múltiples actividades económicas y de servicios en el territorio urbano tiende a acumular los problemas ambientales inherentes al desarrollo urbano, al punto que la problemática ambiental de los grandes centros urbanos se ha convertido en factor determinante del deterioro de la calidad del hábitat urbano, la salud y el bien-

estar de sus habitantes, con otras posibles consecuencias indirectas sobre el medio ambiente nacional y global (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial –MAVDT–, 2008).

En los Estudios Nacionales del Agua desarrollados por el IDEAM (2005, 2008 y 2010) se presenta el panorama sobre la distribución del consumo de agua por sector en el país, según los cuales en el año 2004 el uso agrícola, sector de mayor demanda en el mundo, demandaba 59% del agua del país, en 2005 sube a 61% y posteriormente en 2010 se reduce a 55%; mientras que en el uso domiciliario al año 2003 demandaba 29% del agua del país, luego de que en 2005 pasó a 43.9%, y posteriormente en 2010 se reduce a 27% (incluyendo el uso no consuntivo, como es el caso de la energía). La Figura 4, presenta la distribución de la demanda en el 2010.

En cuanto al aprovechamiento de las aguas subterráneas, en la mayor parte del territorio colombiano es todavía muy incipiente, entre otras cosas, por desconocimiento del potencial de dichos recursos, tanto a nivel regional como local. Existen en el país grandes áreas susceptibles de ser incorporadas al desarrollo del país, en las cuales hay recursos de agua subterránea que podrían utilizarse para suplir

necesidades de agua para diferentes usos, principalmente doméstico (IDEAM, ENA, 2010).

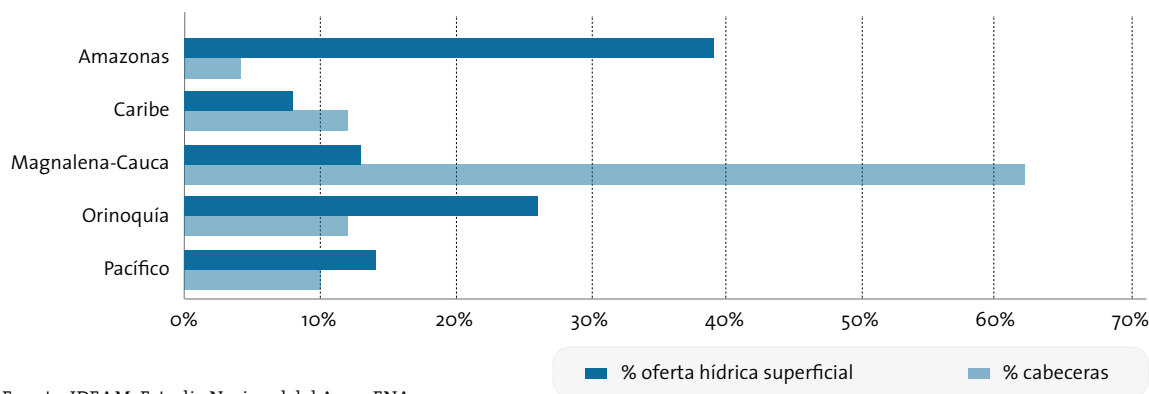
En los estudios realizados por el IDEAM (2010), 74.5% del territorio nacional está cubierto por provincias hidrogeológicas y sólo 25,5% por rocas ígneas, metamórficas o por ambientes con posibilidades hidrogeológicas desconocidas, limitadas o restringidas, lo cual indica por sí solo una riqueza de recurso hídrico subterráneo que no ha sido objeto de evaluación formal. El volumen total de aguas subterráneas es del orden de 5,848 km³, en los cuales 52% de las provincias hidrogeológicas se encuentran en la Amazonía, Orinoquía y Chocó, donde el recurso no es prioritario por el bajo porcentaje de población que ocupa este territorio y el alto rendimiento hídrico de estas zonas, mientras que 48% restante de las provincias hidrogeológicas, es de importancia en el territorio nacional y a este recurso se deben enfocar las estrategias futuras para garantizar la sostenibilidad. La Figura 5 muestra que la principal demanda

de agua subterránea en el país está dada por el sector agrícola con 75%, seguida por el doméstico con 9%.

Del total de la demanda de agua en Colombia, 82% del uso doméstico es para las zonas urbanas o cabeceras municipales, 18% para el resto; además, 30.7% corresponde a la demanda doméstica de las cinco principales ciudades del país (13,6% Bogotá, 6.4% Cali, 5,9% Medellín, 2.8% Barranquilla y 2.0% Cartagena).

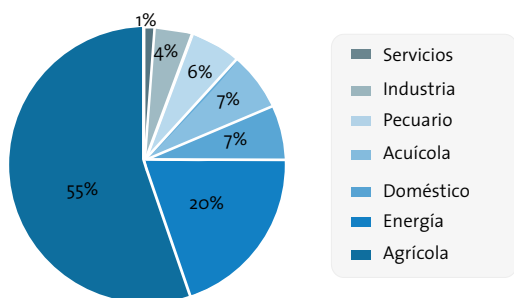
En relación con la calidad del agua en el país, las fuentes principales de alteración son: aguas residuales domésticas, aguas residuales industriales, aguas residuales de producción agrícola y ganadera, aguas lluvias, aguas de transporte terrestre, fluvial y marítimo de sustancias peligrosas y de petróleo y sus derivados; obras de infraestructura, agua de lavado de los procesos de extracción minera, residuos sólidos dispuestos en rellenos sanitarios o directamente en cuerpos de agua. Adicionalmente, el sector doméstico es el principal sector contaminante de los ríos (IDEAM, ENA, 2010).

Figura 3. Distribución de cabeceras municipales y su relación con la oferta media por área hidrográfica



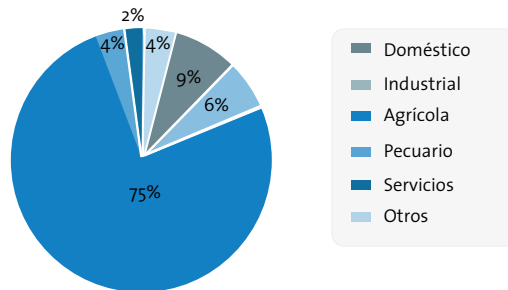
Fuente: IDEAM, Estudio Nacional del Agua-ENA 2010

Figura 4. Participación sectorial en la demanda potencial de agua en Colombia



Fuente: IDEAM, ENA, 2010

Figura 5. Participación sectorial en el uso de agua subterránea en Colombia



Fuente: IDEAM, ENA, 2010.

La densidad poblacional y la producción industrial se han establecido tradicionalmente en las áreas de influencia de las principales ciudades de Colombia, localizadas en la zona Andina, con la consecuente presión sobre los recursos de las cuencas de los ríos Magdalena y Cauca. Los afluentes de estos ríos son los que reciben la mayor carga de alterógenos de la calidad del agua.

Estas condiciones de calidad se suman a otras intervenciones antrópicas como la ocupación del territorio y la tala indiscriminada de especies vegetales, para incidir en la regulación hídrica del país.

Aproximadamente 80% del suministro de agua depende de las aguas de superficie. Sin embargo, en zonas rurales y algunas zonas urbanas dicho suministro es amenazado por problemas de calidad de las mismas, cuyo deterioro progresivo es principalmente causado por una urbanización creciente, en combinación con brechas en la planeación y en la gestión de los recursos hídricos, un inapropiado manejo de usos del suelo, poca protección de las cuencas, descargas incontroladas de aguas residuales domésticas e industriales, minería, procesos de deforestación, así como un manejo deficiente de los residuos sólidos domiciliarios y urbanos (Guerrero *et al.*, 2013).

Adicionalmente, en las principales ciudades de nuestro país existe una elevada recepción de familias desplazadas por la violencia. Para el año 2005, de acuerdo con la Consultoría de los Derechos Humanos y Desplazamiento-CODHES, más de 260.000 personas se registraron como desplazados, lo que representa aproximadamente 3.8% del total de la población de Bogotá (CODHES, 2006). Según estudios, el fenómeno del desplazamiento es creciente en la ciudad frente a la reducida cobertura de la atención; Bogotá se ha convertido en el destino de gran parte de la población que se encuentra actualmente en condiciones de desplazamiento como ha señalado el Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados –ACNUR– (2003). Adicionalmente, en la Encuesta de Calidad de Vida de Bogotá de 2007, se pudo observar que para las localidades consideradas en pobreza y en condiciones de miseria, el indicador de viviendas con servicios públicos inadecuados, el cual es utilizado en Colombia junto con otros cuatro indicadores simples para el cálculo del indicador compuesto de Necesidades Básicas Insatisfechas –NBI– (Feres *et al.*, 2001), es más alto con respecto a las otras localidades (Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría de Planeación, 2007).

En efecto, si bien el sector de agua potable y saneamiento en Colombia ha experimentado mejoras sustanciales a partir del lanzamiento de la ley 142 de 1994, en Colombia los servicios de agua potable y saneamiento son provistos por empresas públicas o privadas, las cuales operan bajo diferentes modelos de gestión (Bernal y Rivas, 2011), pero usualmente pequeños operadores locales suelen proveer dichos servicios básicos en las zonas periurbanas y en asentamientos informales (Colombia, Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007). Se ha verificado que en algunas zonas periurbanas de la ciudad de Bogotá se presentan deficiencias en la prestación de servicios públicos; un ejemplo de esto es la localidad de Usme (Cárdenas Quiroga y Solano Peña, 2007). Estas condiciones de abastecimiento generan una alta vulnerabilidad en la salud de la población, lo cual concuerda con el perfil de morbilidad de la zona, relacionado principalmente con infecciones respiratorias, enfermedades diarreicas y parasitismo intestinal (Cárdenas Quiroga y Solano Peña, 2007). De manera similar, para la ciudad de Medellín, la cobertura de servicios de agua potable y saneamiento no incluye a la población que habita en asentamientos considerados ilegales, siendo éstas las zonas en donde se concentra la población más pobre de esta ciudad (Balcázar, 2008).

Según un estudio realizado por la Colombia Defensoría del Pueblo (2005), en la que se evaluó el cumplimiento de las normas de potabilidad en 959 municipios (aproximadamente 86% del total de municipios en Colombia), se reportó que sólo 18% de la muestra cumple con las normas de potabilidad. La evaluación se realizó considerando parámetros físico-químicos y biológicos. La población total a la que hace referencia esta investigación corresponde a 22.464.114 habitantes de las cabeceras municipales. Tal como se ha señalado, un gran porcentaje de esta población –55%– consume agua que no cumple con los parámetros de la norma (Colombia. Defensoría del Pueblo, 2005).

Debido a lo anterior, el Gobierno de Colombia reconoce desde el año 2008 que la ilegalidad en el uso del agua es una de las problemáticas relacionadas con los recursos hídricos renovables. Adicionalmente, reconoce que con respecto a los asentamientos y a la calidad del hábitat construido en esos contextos, la realidad más común se refiere a aquellos hogares

que no cuentan con sistemas adecuados de abastecimiento de agua potable, y recurren a sistemas alternativos o ilegales (Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008). En algunas ciudades del país el costo del agua potable puede alcanzar niveles muy elevados, los cuales son difícilmente cubiertos por las poblaciones económicamente más vulnerables (ver por ejemplo el caso de Barranquilla reportado por United Nations Development Programme, 2006). Estas particularidades hacen que las personas más pobres de las ciudades se surtan de la única fuente disponible, aun si ésta se encuentra contaminada o presenta riesgos para su salud. Como tecnología complementaria, muchas comunidades colombianas recolectan las aguas lluvias para diversos usos domésticos, como la descarga de sanitarios, lavado de pisos y paredes, sistemas de riego, consumo animal y humano (Torres *et al.*, 2013), práctica que es más común en zonas rurales y resguardos indígenas. Sin embargo, se ha demostrado a través de muestreos que dichas aguas no son aptas para ninguno de los usos domésticos para los cuales se destinan actualmente, debido principalmente a altos valores de turbiedad y altas concentraciones de sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno y algunos metales pesados (Torres *et al.*, 2013).

Es importante hacer referencia al manejo de residuos sólidos como una fuente de contaminación importante en zonas urbanas de fuentes de agua, de espacios públicos causando taponamiento en sistemas de conducción de aguas lluvias, lo cual a su vez es una de las principales causas de inundaciones en zonas vulnerables. La falta de apropiación territorial genera que para una comunidad no sea prioridad el preservar espacios públicos, por lo cual en zonas urbanas y periurbanas que son habitadas por asentamientos ilegales provenientes de ciudades o municipios lejanos, en los cuales la identificación con el territorio temporalmente usado no se alcanza, se disponen los residuos en vías, parques, canales y quebradas. Dentro de la gestión integral de residuos, las prácticas y comportamientos de los generadores tienen un peso considerable; para el caso de este capítulo, las actitudes e interés de los habitantes son la clave para lograr un espacio público y fuentes hídricas limpias de basura, lo cual se puede evidenciar en experiencias que han buscado implementar estrategias de reciclaje en ciudades.

Es importante que las autoridades ambientales y prestadores de servicios fortalezcan sus estrategias técnicas y de políticas públicas para lograr que disminuya, en zonas marginales, el número de personas que adquieren enfermedades causadas por consumo de agua contaminada, bien sea por la ilegalidad en el acceso al recurso o por aportar a su contaminación a través del manejo inapropiado de residuos. Sin embargo, para ambos casos, la implementación de programas constantes de educación ambiental y competencias ciudadanas es un aliado importante, de igual forma que el diseño de programas e implementación de tecnologías involucrando la participación comunitaria aumenta la factibilidad de éxito, no sólo por la apropiación de las mismas, sino por el aumento en la identificación con el territorio.

3. Servicio de Agua Potable

En Colombia, el Estado interviene en la prestación de los servicios públicos y entre ellos el de agua potable, garantizando la calidad del servicio, la ampliación de la cobertura y la prestación eficiente, continua e ininterrumpida. Para el suministro de agua potable se permite la participación de empresas de servicios públicas, las cuales pueden ser públicas, privadas o mixtas; entre ellas, el Estado busca garantizar la libertad de competencia y promueve que se den economías de escala para el adecuado suministro de agua. El régimen tarifario está orientado por criterios de eficiencia económica, igualdad en el tratamiento tarifario, solidaridad y redistribución, que genera un sistema en el cual los usuarios de estratos altos y los usuarios comerciales e industriales ayudan a los usuarios de estratos bajos a pagar las tarifas ayudándolos de esta forma a cubrir sus necesidades básicas. Adicionalmente, son varias las entidades involucradas con el manejo del agua; la regulación es realizada principalmente por dos entidades: la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA), que tiene como propósito regular la competencia de las empresas prestadoras del servicio, establecer las normas para las tarifas y definir criterios para la prestación eficiente del servicio; y, por otro lado, se encuentra la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), que como ente regulador establece los sistemas de información del sector, apoya y resuelve los recursos interpuestos por los

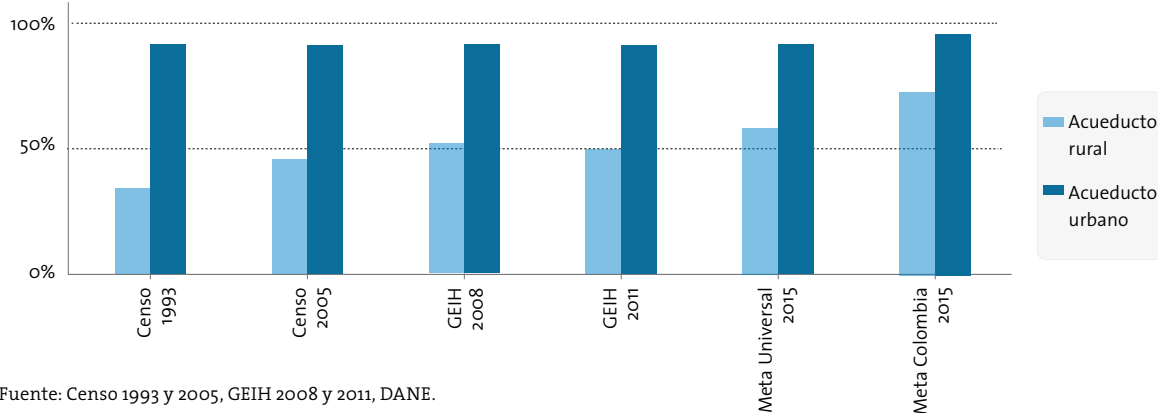
usuarios, vigila y sanciona a las entidades cuando no cumplen adecuadamente las normas del sector. Para la adecuada protección de los recursos naturales en la prestación del servicio de abastecimiento de agua potable, toda entidad encargada de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica, deberá realizar una serie de acciones y proyectos para velar por el uso eficiente y ahorro del agua. Dichos planes deben ser realizados de forma quinquenal para ser presentados y vigilados por las corporaciones autónomas regionales, entes encargados de la vigilancia y control de los recursos naturales en el país.

En Colombia, la cobertura de agua potable para las zonas urbanas para 2011 se estimó entre 96% (Departamento Nacional de Estadística –DANE–, 2012) y 97% (WHO/UNICEF, 2013); la cobertura de acueducto para todo el país fue de 87,3% (DANE, 2012) y en la zona rural tan sólo alcanza 56,3% (DANE, 2012). Registros previos censales para todo Colombia en 2005 reportaron una cobertura de acueducto de 47,1% para la zona rural y 94,3% para las cabeceras urbanas (DANE, 2005). En la Figura 6 se observa una distribución de la cobertura de acueducto en los diferentes centros urbanos, reportando que en 475 cabeceras urbanas más de 98% de los habitantes del centro urbano cuentan con servicio de acueducto y en 425 centros urbanos la cobertura está entre 90% y 98%. Se observa que dicha cobertura se concentra en la zona andina del país, donde se encuentran localizadas las principales ciudades. Al norte del país, en la región Caribe se observa una cobertura un poco menor, con una mayor incidencia de cabeceras urbanas con coberturas entre 80 y 90%. En las regiones de la

Orinoquía, Amazonía (al oriente del país) y Pacífica (al occidente), se observan las menores coberturas en servicio de agua potable (inferiores a 60% en algunos casos). De acuerdo con los registros del censo de 1993 y con estimaciones del Departamento de Planeación Nacional de Colombia para 2015, las grandes ciudades han llegado a una buena cobertura en acueducto; sin embargo, falta en ellas avanzar hacia la cobertura de toda la población de las mismas. En ciudades intermedias y pequeñas, se requieren mayores esfuerzos por atender a la población, esto es particularmente notorio en las regiones con un desarrollo socio-económico menor, donde incluso algunas ciudades capitales de departamento tienen acueductos con coberturas de menos de 60% de la población asentada en la ciudad, situación que se observa en ciudades como Quibdó.

En la Tabla 1 se presentan algunos indicadores de desempeño de la prestación de servicio de acueducto en algunas ciudades importantes de Colombia. Se observa que con respecto a la población servida con conexión de agua potable en dichas ciudades, aún falta por alcanzar la cobertura universal en las ciudades de Colombia, incluso en las reportadas que representan algunas con las mejores condiciones de abastecimiento. El indicador de eficiencia en el uso del agua se refiere a la cantidad de agua potable comercializada sobre el total de agua cruda extraída; algunas ciudades reportan una baja eficiencia. Los consumos diarios por habitante oscilaron entre los 98,82 L/hab/día y 143,57 L/hab/día; dichas diferencias pueden estar influidas por factores climáticos y por mayor derroche en algunas de las ciudades registradas. Las pérdidas en la red evalúan la disminución

Figura 6. Evolución del acceso a agua potable en Colombia



Fuente: Censo 1993 y 2005, GEIH 2008 y 2011, DANE.

Tabla 1. Indicadores de desempeño de la prestación del servicio de acueducto en algunas ciudades de Colombia, 2011

Ciudad	Población	Población servida con conexión de agua potable	Eficiencia en el uso del recurso	Consumo diario por habitante (L/hab/día)	Pérdidas en red en % de agua despachada
Bogotá	7,467,804	98%	55.87%	98.82	43.99%
Medellín	2,368,282	97%	56.81%	143.57	40.87%
Cali	2,269,653	97.54%	60.85%	126.15	47.79%
Barranquilla	1,193,667	91.21%	38.17%	123.1	61.23%
Cartagena	955,709	89.70%	49.93%	137.71	41.99%
Cúcuta	624,661	94.45%	35.39%	132.18	55.34%
Ibagué	532,020	96.22%	48.93%	129.18	51.83%
Pereira	459,667	97.57%	55.49%	102.76	34.09%

Fuente: Informe anual GRTB-ADERASA-2012.

Tabla 2. Evolución de suscriptores de acueducto 2006-2011 por estratos

Estratos	2006	2007	2008	2009	2010*	2011
Estrato 1	797,885	856,013	891,574	935,560	1,025,481	1,125,441
Estrato 2	1,803,405	1,874,624	1,891,114	1,941,870	1,904,253	1,954,729
Estrato 3	1,723,888	1,762,615	1,750,679	1,779,813	1,598,642	1,662,325
Estrato 4	528,810	552,514	575,780	605,809	471,907	504,124
Estrato 5	238,936	248,682	256,685	266,174	219,274	226,594
Estrato 6	137,547	146,124	152,504	159,143	120,928	124,921
Industrial	20,656	22,500	21,350	21,254	16,106	17,327
Comercial	351,994	372,512	379,573	393,023	359,797	379,306
Oficial	24,257	22,617	21,744	21,520	23,264	23,377
Otros	58,634	68,474	71,708	19,286	42,519	47,183
Total	5,686,012	5,926,675	6,012,711	6,143,452	5,782,171	6,065,327

Fuente: SUI, Consolidado Comercial. *En el año 2010 faltó información a reportar por las diferentes empresas.

porcentual entre el agua que se entrega a la red y la que llega a destino; algunos estudios estiman que dichas pérdidas son aceptables alrededor de 20%, por lo que son preocupantes los altos valores que se reportan en las ciudades analizadas.

De acuerdo con estas cifras, en Colombia el consumo básico es del orden de 20 m³/suscriptor-mes (CRA, 1994), que es equivalente a 110 L/hab-día (SSPD, 2007). Sin embargo, este nivel ha sido considerado en varias investigaciones como un consumo elevado. La Organización Panamericana de la Salud (OPS) ha determinado el consumo básico entre 80 L/habitante-día y un máximo de 100 L/hab-día.

En la Tabla 2 se presenta la evolución en el número de suscriptores del servicio para las empresas más importantes del país en el sector de agua potable y saneamiento. La clasificación por estratos se refiere a la posición económica de la población, siendo el número 1 la de más bajos ingresos económicos y el 6 la de los más altos.

En el caso de pequeños centros urbanos, utilizando los registros reportados en el Sistema único de registro de Servicios Públicos de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) para el año 2013, se encontró que tan sólo 64% de los centros urbanos pequeños cuentan con un plan maestro de acueducto y alcantarillado y 46% de ellos los reporta como en ejecución. Dicho plan es un mecanismo de articulación entre el ordenamiento de las ciudades y el desarrollo de sus sistemas de saneamiento; en dichos planes se presentan las estrategias, programas y proyectos para garantizar el abastecimiento actual y futuro de agua potable y el servicio de alcantarillado en las ciudades. De estos municipios, únicamente 86% reporta como potable el agua que consumen y 91% de los municipios que reportan tener planta de tratamiento de aguas la tienen en operación. De los municipios que reportan datos de calidad de agua, 86% reporta el agua como potable, pero al analizar los niveles de riesgo en el

agua suministrada solamente 11% reporta que ésta no registra riesgo; gran parte del porcentaje restante reporta no realizar la vigilancia. Lo anterior indica que, aunque se ha crecido en cobertura de acueducto en las zonas urbanas del país, es importante también hacer más esfuerzos orientados a la gestión de los sistemas de abastecimiento, a mejorar los procesos de tratamiento y la vigilancia de la calidad del agua, especialmente en centros urbanos más alejados y con condiciones socio-económicas más bajas.

Es preciso mencionar el alto grado de vulnerabilidad en que se encuentran los acueductos municipales. Durante 2007, "cerca de 200.000 habitantes fueron afectados por eventos de inundación (o colapso operativo del sistema de alcantarillado), alrededor de 500.000 habitantes presentaron suspensión del servicio de acueducto, como consecuencia de avalanchas, incremento en los niveles de turbiedad de los ríos, taponamiento o colapso de captaciones, y poco más de 20.000 habitantes presentaron suspensión del servicio de acueducto como consecuencia de deslizamientos de suelos que comprometieron la estabilidad de alguna de las estructuras de prestación de dicho servicio". A la fecha, el país adolece de un plan para la reducción de esta vulnerabilidad; no se cuenta con estudios e inventarios sobre este tema.

4. Tratamiento de agua en las ciudades

La densidad poblacional y la producción industrial se han establecido tradicionalmente en las áreas de influencia de las principales ciudades de Colombia, localizadas en la zona Andina, con la consecuente presión sobre los recursos de las cuencas de los ríos Magdalena y Cauca. Los afluentes de estos ríos son los que reciben la mayor carga de alterógenos de la calidad del agua.

Según el estudio "Bases para la formulación de un Plan Nacional de Aguas Residuales" (Universidad de los Andes–Ministerio de Medio Ambiente, 2002), un estimativo del caudal de aguas residuales generado por los centros urbanos identifica que en Colombia se están arrojando a los cuerpos de agua cerca de 67 m³/s, en donde Bogotá representa más de 15,3%, Antioquia 13%, Valle del Cauca 9,87% y los demás departamentos están por debajo de 5%. Las áreas costeras presentan principalmente contaminación por

desechos domésticos e industriales. La mayoría de las descargas domésticas son vertidas sin tratamiento previo a las aguas costeras o a los ríos, principalmente a los de la cuenca del Río Magdalena, donde los ríos Cauca y Bogotá son los principales receptores de toda índole de contaminantes.

Según el análisis hecho por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2006), los sistemas de tratamiento con que cuentan las empresas prestadoras del servicio público de alcantarillado, en las grandes ciudades (Bogotá, Medellín, Cali), permiten tratar sólo 32% de las aguas residuales que se vierten a los cuerpos hídricos.

Aun más preocupante resulta el hecho de que ciudades como Barranquilla, Bucaramanga e Ibagué tengan porcentajes de tratamiento de 17%, 26% y 11% respectivamente, en tanto que ciudades como Cartagena, Cúcuta, Pereira, Manizales, Neiva, Pasto, Valledupar, Popayán, Palmira, Florencia, Sincelejo, Buenaventura, Piedecuesta, Tuluá, Armenia, Tunja, Rionegro, Cartago, Sogamoso y Girardot no realicen ningún tipo de tratamiento a las aguas residuales.

Es decir, el rezago del país frente al tratamiento de aguas residuales se debe tanto a la inexistencia de infraestructura de sistemas de tratamiento como a la baja cobertura de las plantas existentes. Sólo 354 (33%) municipios del país cuentan con sistemas de tratamiento y se sabe que 29% de ellos no se encuentran operando. Se ha estimado que de los 159 m³/s de agua captados a nivel nacional, el volumen de aguas residuales que recibe tratamiento es cercano a 5 m³/s, equivalente a 3,1% del volumen mencionado.

Como resultado del deterioro de la calidad del agua y de las cuencas abastecedoras, la baja cobertura, capacidad y mantenimiento de las plantas de tratamiento de agua, así como de la falta de control, seguimiento y monitoreo de la calidad de agua, hay un alto porcentaje de colombianos que no reciben agua apta para consumo humano.

Entre los años 2002 y 2006 hubo un importante avance en el número de municipios que cuentan con sistema de tratamiento de sus aguas residuales (STAR), al pasar de 218 en 2002 a 355 en 2006; no obstante, esta última cifra sólo representa 32,33% de los municipios del país (incluido el Distrito Capital), lo cual se puede calificar como una baja cobertura.

También vale destacar el caso de los departamentos con más de 100 municipios, como Antioquia, Boyacá y Cundinamarca, cuyo porcentaje de munic-

Tabla 3. Evolución de suscriptores de alcantarillado 2006-2011 por estratos

Estratos	2006	2007	2008	2009	2010*	2011
Estrato 1	584,209	635,338	672,295	704,706	698,831	804,758
Estrato 2	1,620,039	1,728,577	1,759,061	1,807,590	1,729,719	1,792,205
Estrato 3	1,619,037	1,713,498	1,726,782	1,750,545	1,529,554	1,623,322
Estrato 4	503,009	544,323	571,922	599,248	444,039	492,719
Estrato 5	228,126	241,435	524,505	260,123	210,809	221,566
Estrato 6	130,234	141,256	146,418	253,636	113,688	119,464
Industrial	18,661	20,451	19,872	19,647	13,733	14,647
Comercial	331,328	360,628	372,612	383,211	337,290	362,632
Oficial	21,273	19,840	19,286	19,131	19,461	20,280
Otros	54,401	66,778	70,151	73,287	40,509	43,827
Total	5,110,317	5,472,124	5,882,904	5,870,851	5,137,633	5,495,420

Fuente: SUI, Consolidado Comercial. *En el año 2010 falta información a reportar por las diferentes empresas.

prios con STAR en el año 2006 fue de 31.2%, 20.83% y 38.79% respectivamente, valores que estaban por debajo del promedio nacional (41.39%), lo que muestra por un lado un atraso con respecto a otras regiones del país, debido muy seguramente al enorme esfuerzo que implica proveer del servicio a un número mayor de poblaciones.

En la Tabla 3 se presenta la evolución en el número de suscriptores del servicio de alcantarillado en Colombia.

5. Reutilización de aguas

El aumento del consumo de agua potable es debido al crecimiento de la población urbana a nivel mundial (United Nations Population Division, 2008), y en particular en Latinoamérica y en Colombia (DANE, 2005), y la degradación de los ecosistemas acuáticos debido a los impactos hidrológicos y en la calidad del agua producidos por la urbanización, ha creado un interés cada vez mayor en buscar fuentes alternativas de aguas tales como: la reutilización de aguas residuales, aguas grises, aguas de escorrentía urbana y el aprovechamiento del agua lluvia (IDEAM, 2008).

Estas fuentes alternativas de agua se están volviendo una opción atractiva para comunidades que están sufriendo por escasez de agua potable o que prevén una posible escasez, dado que potencialmente pueden: (i) utilizar esta agua en usos que no requiere la calidad de agua potable, tales como: descarga de sanitarios, riego, lavado de zonas duras, etcétera; (ii) incrementar las fuentes de agua y proveer fuentes

alternativas para satisfacer las necesidades de agua presentes y futuras; (iii) proteger los ecosistemas acuáticos disminuyendo la extracción de agua dulce, lo cual reduce capacidad de dilución de los cuerpos de agua (respuesta a la cantidad de nutrientes y otros contaminantes tóxicos que entran en el medio acuático); (iv) disminuir la necesidad de estructuras de control de agua, como presas y embalses; (v) cumplir la normativa ambiental mediante una mejor gestión del consumo de agua y descarga de aguas residuales.

5.1 Reutilización de aguas residuales

En Colombia se ha utilizado el agua residual principalmente para el riego de cultivos con poco o ningún tratamiento (Silva, 2008; Silva *et al.*, 2008). Desde el año 1998 se han desarrollado estudios de factibilidad técnica y propuestas para reutilizar el agua residual (Vanegas Gálvez *et al.*, 2001; Osorio, 2006) evidenciando que la opción de reutilización (Valencia, 1998; Madera *et al.*, 2003) y de aguas residuales es viable en términos de disponibilidad y disminución del impacto ambiental de estas aguas en los cuerpos receptores.

Para promover la reutilización de las aguas residuales, es necesario realizar una política de gestión integrada del recurso hídrico para promover la reutilización de las aguas residuales, para lo cual el desarrollo de la reglamentación debe considerarse bajo un enfoque integrador teniendo en cuenta las características del agua residual, el tipo de tratamiento, la calidad requerida para la reutilización y las condiciones naturales de la zona (Manga *et al.*, 2001).

Adicionalmente, se ha evidenciado que en algunas regiones de Colombia el concepto de reutilización no es fácil de entender (Madariaga *et al.*, 2005).

Valencia *et al.* (2010) propusieron un esquema metodológico para la reutilización de aguas domésticas, el cual puede utilizarse como mapa de navegación para la implementación de proyectos de reutilización, y en 2012 desarrollaron un estudio para determinar el potencial de reutilización del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del municipio de Nátaga, en el departamento del Huila. Los autores concluyeron que para la zona de influencia, la cual presenta un déficit hídrico durante la mayor parte del año, el riego agrícola específicamente para el cultivo de cacao es el uso recomendado no sin antes evaluar los efectos de esta agua tratada sobre el suelo, la planta y la salud pública.

Jaramillo (2010) evaluó el potencial de reutilización de agua residual doméstica como estrategia para el control de la contaminación por agua residual en el valle geográfico del Río Cauca. Este estudio formó parte del proyecto SWITCH¹, alianza de investigación financiada por la comisión Europea (SWITCH, 2013). Se identificó que 2 de 26 municipios de la zona emplean reutilización directa (planificada) (efluente tratado empleado para algún uso planeado), y el resto de municipios realizan una reutilización indirecta –no planificada– (efluente no tratado y el agua es utilizada de forma no intencional). Como conclusión principal se encontró que la implementación de la reutilización de aguas residuales depende de múltiples factores, los cuales deben ser evaluados a escala local.

La Pontificia Universidad Javeriana (PUJB), sede Bogotá, desarrolló una propuesta de reutilización para el efluente de la PTAR El Salitre de Bogotá. Principalmente se propuso que el efluente se empleara para el riego agrícola, dado que frente a la PTAR El Salitre se encuentra el Distrito de Riego la Ramada (con un área superior a las 23.000 ha). Se realizó un diagnóstico de la situación actual del distrito de riego, encontrando que el efluente tratado podría ser utilizado para complementar las fuentes de agua superficial de la zona para regar las unidades de riego actuales y las áreas de ampliación. Paralelo a este diagnóstico se evaluaron otros posibles usos diferentes al riego agrícola: uso industrial, paisajístico y recarga de acuíferos. Lo anterior se desarrolló

teniendo en cuenta la calidad del agua que alcanzaría el efluente de la PTAR con el sistema secundario y el tratamiento de desinfección, el mercado potencial en la ciudad de Bogotá y los costos para su implementación. Se llegó a la conclusión de que de los usos mencionados anteriormente, el más viable es el uso industrial. Dicha conclusión se obtuvo a partir de una encuesta realizada a las industrias cercanas a la PTAR y se identificó que la principal barrera para su implementación son los costos de distribución del agua tratada, y para los demás usos estudiados que se requiere de tratamientos adicionales para mejorar la calidad. Como conclusión principal se obtuvo que el mayor potencial de reutilización del efluente de la PTAR es para riego agrícola, debido a que se puede utilizar un mayor volumen y la tarifa de esta agua tratada resulta favorable para el agricultor dado que es competitiva con la que pagan actualmente por agua con una menor calidad (Campos *et al.*, 2011).

Lasso y Ramírez (2011) desarrollaron una aproximación general de tipo normativo, hidroclimático y ambiental sobre la reutilización de aguas residuales para el riego de cultivos de caña de azúcar y palma de aceite para la producción de biocombustibles. Los autores concluyeron que para los productores la reutilización de aguas residuales les otorgaría ventajas económicas, dado que se reducirían las prácticas de fertilización y el costo del uso del agua. Adicionalmente, se estableció que para implementar la reutilización es necesario establecer políticas y mecanismos de gestión integrados del recurso hídrico, donde se contemplen las características del agua residual, así como el tratamiento necesario y la calidad requerida.

Echeverri *et al.* (2012) evaluaron la calidad del efluente de la PTAR de Cali para reutilizarlo en riego agrícola y lo compararon con la calidad de agua subterránea proveniente de un pozo. Este estudio fue el paso inicial para el planteamiento de un proyecto de reutilización de aguas residuales domésticas para el riego de caña de azúcar en el valle del Río Cauca.

Con respecto a la política y normativa relacionada con la reutilización de aguas residuales en Colombia, se cuenta de manera indirecta con la Ley 373 de 1997, la cual contribuye en fomentar la reutilización de las aguas residuales como una alternativa de bajo costo que debe ser valorada (MAVDT y el Departamento Nacional de Planeación –DNP–, 2004). Por su parte, el Decreto 3930 de 2010 del Ministerio de Am-

1. <http://www.switchurbanwater.eu/>

biente, Vivienda y Desarrollo Territorial, el cual derogó el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Salud, salvo los artículos 20 y 21, entre una de sus tantas consideraciones contempla la revisión de los actuales usos del agua con el fin de actualizar por parte del MAVDT los criterios de calidad que debe cumplir el recurso hídrico para los diferentes usos del mismo y las normas de vertimiento para garantizar dichos criterios. En su Artículo 76 –Régimen de transición– define que mientras el MAVDT expide las regulaciones sobre los usos del agua y criterios de calidad para cada uso, continuarán transitoriamente vigentes los artículos 37 a 48 del Decreto 1594 de 1984. En estos artículos se definen los criterios de calidad para consumo humano y doméstico, uso agrícola, uso pecuario, fines recreativos mediante contacto primario y secundario, uso estético y uso industrial.

A raíz de lo definido por los Decretos 3100 de 2003 (reglamentación de las tasa retributivas), 3440 de 2004 (modificación del Decreto 3100 de 2003) y la Resolución 1433 de 2004 (reglamentación del Artícu-

lo 12 del Decreto 3100 de 2003, Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos), las corporaciones autónomas regionales de Colombia han desarrollado diferentes acciones para la definición de los objetivos de calidad del agua para las cuencas, los cuales deben estar articulados con los objetivos y metas de calidad para los diferentes usos.

5.2 Reutilización de aguas de escorrentía urbana y aprovechamiento de agua lluvia

En el mundo, el aprovechamiento del agua lluvia se ha convertido en todo un incentivo de uso eficiente del agua como elemento fundamental de gestión para conseguir ciudades más sostenibles. La implementación de sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias en ciudades se considera una estrategia multi-propósito para controlar inundaciones y, al mismo tiempo, reducir el consumo de agua potable, reducir las solicitudes sobre los sistemas de drenaje existentes durante precipitaciones intensas

Visión y Manejo Integral del Agua

Propuesta para un modelo de manejo integral del agua

El problema principal del agua en Colombia y en el mundo es un asunto de calidad antes que de cantidad. El sistema institucional y administrativo, es decir, la gobernabilidad del agua, ocupa también un puesto destacado en nuestra problemática. El modelo del Manejo Integral del Agua se basa en cuatro pasos:

Primer paso: Recuperación y protección de cuencas afectadas

La mayor parte de las cuencas que abastecen los acueductos municipales están siendo afectadas desde hace varias décadas por diferentes actividades antrópicas. Principales actividades antrópicas que afectan la calidad del agua:

- Contaminación por aguas residuales domésticas.
- Contaminación por aguas residuales industriales.
- Contaminación por abonos, plaguicidas y pesticidas.
- Disposición inadecuada de basuras.
- Actividades de minería aluvial y artesanal.
- Animales en descomposición al aire libre.
- Cultivos en laderas y cerca de los nacimientos y corrientes de agua.
- Pastoreo de ganado cerca de los nacimientos y corrientes de agua.
- Arrastre de sedimentos por construcción de vías, explotación de canteras y otras obras de ingeniería que suponen modificación del paisaje.

- Modificación de los cauces (corte de meandros, taponamientos de conexión con lagunas).
- Construcción de obras de ingeniería que modifiquen la dinámica y curso de las corrientes (puentes, presas, desvíos de agua, entre otros).
- Quema y tala del bosque.

Segundo paso: Educación de la comunidad en el uso eficiente y ahorro del agua

Acciones recomendadas para un uso eficiente del agua:

- Repare grifos defectuosos
- Verifique que no haya averías en las tuberías.
- Verifique que el tanque del sanitario no tenga fugas.
- Reduzca el volumen del tanque del sanitario.
- Tome duchas cortas.
- Use la lavadora cuando esté llena de ropas.
- Cierre el grifo mientras se cepilla los dientes.
- Riegue los prados y jardines justo con el agua necesaria.
- No lave con manguera el frente de su casa ni las calles.
- Cree conciencia en todos los miembros de su familia, acerca del ahorro del agua.
- Reporte inmediatamente fugas en las tuberías en vías públicas.
- Promueva el tratamiento de las aguas residuales en las fábricas: con ello se pueden obtener ahorros hasta de 70%.
- Nunca piense que puede gastar el agua que desee porque puede pagarla; otros la necesitan.
- Riegue los prados y jardines en las mañanas.

Tercer paso: Recuperación y manejo de aguas residuales

Principales sistemas de tratamiento de aguas residuales más utilizados.

- Lodos activados.
- Tratamientos fisicoquímicos.
- Lagunas de oxidación.
- Canales sembrados con plantas acuáticas.
- Humedales.
- Microfiltración utilizando nanotecnologías modernas.

Cuarto paso: Recuperación y manejo ambiental de las márgenes de los ríos: parques lineales

Una vez recuperadas las aguas residuales, las corrientes que pasan por cada municipio volverán a adquirir su calidad fisicoquímica y bacteriológica. En estas circunstancias, la población tendrá la oportunidad de disfrutar de ellas para la pesca, recreación y sus terrenos aledaños se convertirán en parques para la recreación de la comunidad. Ventajas de los parques lineales:

- Caminar y descansar.
- La recreación infantil.
- Esparcimiento familiar.
- Recreación artística.
- Disfrute de la naturaleza y el paisaje.
- Reconciliación con la naturaleza.
- Expresión de tradiciones culturales.
- Integración entre el desarrollo urbanístico y ambiental.

En resumen: significa **Calidad de Vida**.

(European Environment Agency –EEA–, 2012), disminuir y, en algunos casos, resolver problemas de escasez y contaminación de aguas superficiales y subterráneas, e incluso ayudar en la economía de la población local, especialmente en casos de aumento de precios de agua potable. Adicionalmente, podría jugar un papel clave en el aumento de la evapotranspiración como estrategia adicional de mitigación del calentamiento global, acompañando las políticas de prevención de emisión de dióxido de carbono.

La práctica de aprovechamiento de aguas lluvias en Colombia hace parte del Programa para el

Uso Eficiente y Ahorro del Agua, establecido mediante la Ley 373 de 1997, donde las entidades públicas responsables de otorgar las concesiones de agua deberán exigir a los usuarios del recurso, dentro de los estudios previos, la oferta de aguas lluvias y la viabilidad técnica y económica de la implementación de su uso.

Actualmente esta práctica se concentra en experiencias tradicionales de captación por medio de canecas, vasijas y pozos artesanales, para utilizar el agua que cae sobre los tejados de las viviendas para usos no potables y aprovechamientos privados en

Proyectos exitosos de recuperación del agua

El manejo de las aguas residuales domésticas e industriales ha sido siempre un problema de difícil solución. Los costos y grandes inversiones en plantas de tratamiento para depurar las aguas antes de verterlas a quebradas o ríos, ha sido uno de los principales obstáculos para dar solución satisfactoria a este problema.

La biotecnología de las plantas acuáticas se ha desarrollado como una alternativa de tratamiento de aguas residuales que, en pequeñas comunidades e industrias, ha demostrado altas eficiencias de remoción de una amplia gama de sustancias, así como de materia orgánica y nutrientes.

Este sistema de purificación biológico del agua es una innovación reciente en la lucha contra la contaminación y es una alternativa ecológica y económica para el tratamiento de las aguas residuales en las regiones tropicales y subtropicales del mundo.

- Se requiere 1.2 hectáreas para tratar 680 m³/día de aguas residuales producidas por una población de 5.000 habitantes.
- Longitud de los canales: 500 m
- Disposición de los canales: 50 m de largo x 6.0 m de ancho x 0.20 - 0.80 m de profundidad
- Caudal aproximado de descarga: 8 a 10 litros/seg.
- Tiempo de retención del agua: 14 a 21 días
- Se requiere de solo un obrero para hacer su mantenimiento (remoción de plantas y de lodos)
- Remoción de plantas saturadas (amarillentas): cada 4 o 5 semanas.
- Una hectárea de jacintos produce: 16 a 32 ton/día de biomasa; 90 a 180 m³ de gas METANO y 0.5 ton/día de abono.

Para más información sobre esta experiencia visite:

<http://www.ianas.org/index.php/books>

http://www.ianas.org/books/books_2015/water_lines.pdf



Vista panorámica de los canales sembrados con el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)

centros comerciales y de servicios, edificios de oficinas y bloques de apartamentos (Ramírez-Fonseca, 2009; Castañeda, 2010). Por ejemplo, de acuerdo con observaciones directas de los autores en áreas periurbanas de Bogotá realizadas desde 2002, varias familias están actualmente utilizando el agua lluvia de escorrentía sobre tejados para suplir algunos usos (incluido el consumo humano) sin un tratamiento previo. Por lo tanto, existe entonces un riesgo en la salud asociado con esta práctica, en especial en función de los métodos de recolección, almacenamiento, preservación y distribución de dicha agua. A pesar de dicho riesgo, son pocas las experiencias científicas que existen en Colombia (Lara *et al.*, 2007; Castañeda, 2010; Buitrago y Camacho, 2012; Torres *et al.*, 2013) en las que se analice la calidad del recurso, complementarias de temas como caudales, recolección y almacenamiento (Torres *et al.*, 2012). Se requiere entonces de dichos estudios con el propósito adicional de evaluar el aporte de contaminantes a cuerpos receptores y diseñar sistemas de tratamiento de aguas lluvias.

6. Agua y salud en Colombia

Según datos de la Procuraduría General de la Nación, el Gobierno ha transferido en los últimos diez años un total de \$117.5 billones (aproximadamente 53 mil millones de dólares), de los cuales \$7.2 billones (aproximadamente 3 mil millones de dólares) se asignaron al sector de agua potable; sin embargo, persiste una alta morbilidad y mortalidad por enfermedades bacterianas de origen hídrico, de las cuales la diarrea crónica es la más común y generalizada, a pesar de la inversión de los recursos provenientes del Sistema General de Participación (SGP), regalías y otras fuentes.

Según datos de Ernesto Sánchez-Triana *et al.* (2006), en Colombia aproximadamente 7.2% de la mortalidad infantil es atribuible a enfermedades diarreicas; y la prevalencia diarreica de dos semanas en niños menores de 5 años es de 2.9%, donde 90% de los casos y las hospitalizaciones consiguientes se atribuyen a problemas relacionados con la calidad del agua, saneamiento e higiene.

El Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES) 3343 ha establecido que el costo promedio en salud pública debido a las “inadecuadas condiciones de abastecimiento de agua, el saneamiento y la higiene asciende a \$1.96 billones de pesos (aproximadamente 890 millones de dólares)”.

El Ministerio de Salud y de la Protección Social informó que Colombia hizo parte de las 20 naciones que se dieron cita en Bogotá para evaluar, analizar y actualizarse con respecto a la situación de fiebre amarilla, una enfermedad que no reporta casos en nuestro país desde 2010, pero que representa un evento importante en materia de vigilancia de salud pública. Las enfermedades de origen hídrico más frecuentes en Colombia, se presentan en la Tabla 4.

7. Variabilidad y cambio climático y su impacto en el recurso agua

La reducción en la oferta hídrica superficial en épocas de estiaje, relacionada con tendencias climáticas de largo plazo o asociada a eventos climáticos extremos, se constituye en una de las principales amenazas para la gestión integral del agua en cuencas hidrográficas que satisfacen la demanda del recurso de grandes centros urbanos. Esta situación es particularmente preocupante en cuencas de montaña que son abastecedoras de sistemas de acueducto de numerosas ciudades en la región de los Andes. Grandes urbes ubicadas en zonas de montaña de Colombia, tales como Bogotá, Medellín, Manizales y Bucaramanga, las cuales concentran un alto porcentaje de la población viviendo en el contexto urbano del país, podrían enfrentar significativos retos en torno al suministro del agua para satisfacer sus consumos doméstico, comercial, industrial e institucional en el mediano y largo plazos. La disminución del agua superficial neta, combinada con un aumento desproporcionado de la demanda y un deterioro en las condiciones de calidad del recurso, urge a los tomadores de decisiones y organismos de planificación a diseñar estrategias y ejecutar acciones que propendan por garantizar una oferta continua y con altos estándares de potabilidad. Proyectos de expansión de capacidad instalada para el suministro de agua a poblaciones urbanas, acompañados de programas de ahorro y uso eficiente del agua, han sido las estrategias abordadas tradicionalmente por empresas de servicios públicos y entes planificadores para afrontar la problemática de incremento en el índice de utilización o uso del recurso. Tales iniciativas se han materializado paralelamente a propuestas de negocio del agua y a lineamientos de política que

consideran este recurso vital como eje estructural. Acciones de capacitación ciudadana, sensibilización y apropiación por el recurso, así como reestructuraciones de la organización institucional para la gestión del agua, han acompañado también todas estas propuestas y han facilitado que muchos procesos permeen con mayor celeridad en el diario vivir de las comunidades asentadas en los centros urbanos.

Adicional a la preocupación en torno al aumento de la demanda, están surgiendo en Colombia actualmente conflictos de intereses por la presentación de proyectos en zonas de nacimiento de cuencas hidrográficas, que algunas veces son interpretados como amenazas para el mantenimiento del agua en sus condiciones óptimas de cantidad y calidad. Tales proyectos, que muchas comunidades asentadas en centros urbanos manifiestan están en contravía de sus propuestas de gestión integral de las cuencas proveedoras de su agua potable, generan la necesidad de que las autoridades ambientales y agencias de licencias ambientales trabajen aun más cercanamente para priorizar las diferentes propuestas para el manejo de las hoyas hidrográficas.

Dentro de las herramientas para identificar los conflictos generados en torno al recurso hídrico, Colombia ha venido avanzando en la implementación y evaluación de la huella hídrica como un indicador complementario para la gestión integral del recurso hídrico, la cual te permite identificar los impactos de la intervención humano en este recurso.

8. Problemas de aguas pluviales e inundaciones

El problema del manejo de aguas lluvias surge con el crecimiento desproporcionado de la población en zonas urbanas, lo que obliga a la construcción de más áreas impermeables y la constante renovación de sistemas de drenaje que hagan posible la vida moderna. Sumado a lo anterior, y debido a la influencia del cambio climático en el ciclo hidrológico, se evidencian cambios en los patrones de precipitación, en algunos casos incrementando la frecuencia de precipitaciones extremas. El cambio tan rápido del uso del suelo y la urbanización conlleva a un cambio del flujo de materia y energía en el ciclo hidrológico –cambios en los micro-climas– (Araujo y González,

2010), donde la tasa de infiltración disminuye drásticamente modificando los tiempos de concentración, lo que provoca el aumento de la escorrentía superficial. Este incremento de volumen y caudal de escorrentía genera mayor transporte de sedimentos, lo cual puede representar un riesgo ambiental al cuerpo receptor.

8.1 Inundaciones en ciudades

Los eventos de inundación en zonas urbanas es uno de los problemas derivados de la urbanización con más altos impactos sobre la población y su estilo de vida, ya que se afectan áreas densamente pobladas que contienen, en general, infraestructura de vital importancia. Entre 2001 y 2010, éstos fueron el tipo

Tabla 4. Enfermedades más frecuentes en Colombia

Tipo de enfermedad	Casos reportados	Casos de mortalidad
Enfermedad Diarreica Aguda-EDA	605,497	26
Malaria	15,000	1
Hepatitis A	1,237	220
Dengue	1,010	29
Leptospirosis	718	12
Fiebre tifoidea	104	0
Cólera	57	0
Poliomielitis	1	0
Fiebre amarilla	0	0

Varias fuentes: INS, SIVIGILA, DANE

Figura 7. Efecto de las inundaciones en la Sabana de Bogotá, Oct. 2011



más común de desastre a nivel global, responsable de al menos la mitad de las víctimas de los desastres naturales y de pérdidas económicas valoradas en 185 billones de dólares (International Disaster Database –EM-DAT–, 2011).

Colombia, durante el 2010 y el 2011 experimentó una temporada de lluvias sin precedentes históricos, como se observa en la Figura 7. Durante esa época –14 meses– se registraron 1.734 eventos de inundación, lo cual corresponde a 45% de los eventos ocurridos en el decenio 1998-2008. Este número de eventos en tan corto tiempo generó consecuencias que excedieron los eventos previamente registrados: centenares de muertos y más de tres millones de personas afectadas (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres –UNGRD–, 1998-2011; Hoyos *et al.*, 2013).

Respecto a la investigación en Colombia desarrollada sobre este aspecto, se debe resaltar el trabajo en temas de hidrología urbana realizado por la Universidad del Norte (Caribe colombiano) en las cuencas de los arroyos de la ciudad de Barranquilla (Ávila *et al.*, 2012; Ávila y Díaz, 2012; Ávila y Sisa, 2012; Sisa y Ávila, 2012). Igualmente, el análisis de relaciones lluvia-escorrentía para cuencas en el casco urbano de Lorica, trabajo desarrollado por la Universidad Pontificia Bolivariana Sede Córdoba (Salgado y Dickson, 2012). En el Valle de Cauca, el Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico (CINARA) de la Universidad del Valle, ha trabajado de forma destacable en la aplicación de modelos simplificados en hidrología urbana, modelación hidrodinámica del drenaje urbano de la ciudad de Cali y reflexiones acerca de los retos y desafíos del cambio climático para las zonas urbanas, investigaciones desarrolladas por Galvis *et al.* (1987), Galvis *et al.* (2007) y Carvajal (2007), respectivamente. Con respecto a Bogotá, también a escala de cuenca urbana, debe resaltarse el reciente trabajo de Hernández y Cubillos (2012) quienes han propuesto y aplicado satisfactoriamente en la cuenca del río Salitre una metodología para evaluar el riesgo público por inundación pluvial. Sin embargo, son pocas las experiencias de estudios sobre inundación pluvial de sistemas de alcantarillados (Sandoval *et al.*, 2012) y su interacción con otros elementos del sistema como plantas de tratamiento o ríos.

Para el pronóstico de inundaciones rápidas se emplean los sistemas de alerta temprana, los cua-

les han sido reconocidos como la herramienta más avanzada a nivel mundial (Quintero *et al.*, 2012). En Colombia son pocos los avances en este sentido (Rogel y Ardila, 2012). Se han realizado algunos trabajos en cuencas de la ciudad de Bogotá por la PUJB relacionados con temas de instrumentación, en particular sobre la importancia de adquirir e instalar un radar meteorológico en la ciudad de Bogotá (Copete *et al.*, 2012), así como sobre el estudio de la distribución de las lluvias sobre Bogotá (Vargas *et al.*, 2010; Santos, 2011; Vargas *et al.*, 2011; Rada Ariza y Torres, 2011). Adicional a los trabajos mencionados anteriormente, en la Universidad Nacional sede Manizales han analizado la variabilidad espacio-temporal del campo de precipitación en la ciudad de Manizales (Botero, 2009; Botero y Cortés, 2010; Cortés, 2010), el proceso lluvia-escorrentía en la cuenca urbana de la quebrada San Luis (Suárez, 2008) y han estimado la variabilidad del tiempo de concentración de esta misma microcuenca urbana (Vélez y Botero, 2011), empleando una red meteorológica urbana instalada. Otro trabajo, con el cual se ha pretendido dar inicio a una estrategia de investigación en temas de hidrología urbana al interior de Empresas Públicas de Medellín (EPM), desarrollado por la Universidad Nacional, sede Medellín, con el apoyo de profesores de la Universidad Nacional, sede Bogotá (Vélez *et al.*, 2010), es la red piloto de información hidrometeorológica para el Valle de Aburrá (Jiménez *et al.*, 2008), en el SIATA (Sistema de Alerta Temprana de Medellín: primero en el país)² y en el análisis de la cuenca urbana de la quebrada La Picacha. Como resultado de las investigaciones desarrolladas hasta el momento, se ha identificado que en comparación con los estudios internacionales desarrollados, es más complejo caracterizar el campo de precipitación sobre las ciudades colombianas. Lo anterior se debe a las particularidades relacionadas con la extensión de las ciudades, el relieve, las limitaciones en cuanto a instrumentación instalada, lo que dificulta el entendimiento de los campos de precipitación así como pronósticos de precipitación. Por lo tanto, es necesario que en nuestro país, a través de un trabajo en conjunto con meteorólogos y climatólogos, se continúe desarrollando y profundizando la línea de investigación de hidrometeorología urbana

2. <http://www.siata.gov.co/newpage/index.php>

8.2 Nuevas soluciones

Con el entendimiento de los impactos ambientales producidos por la urbanización, se ha generado un nuevo enfoque orientado a mejorar la gestión de las aguas urbanas. Éste contempla el concepto de drenaje sostenible, que incluye a largo plazo factores ambientales y sociales en los proyectos de drenaje que buscan mantener la integridad ecológica, ambiental e hidrológica de un lugar, respecto de su condición previa al desarrollo urbano por medio del control de inundaciones, recogiendo, almacenando y mejorando la calidad del agua de escorrentía, tratando de emular las condiciones hidrológicas del lugar antes de la urbanización, minimizando los impactos propios de la infraestructura y de la actividad antrópica en la calidad del agua.

Sin embargo, como el sistema de drenaje urbano es complejo y tiene múltiples interacciones con los aspectos sociales, económicos y ecológicos, el reto no recae sólo en las cuestiones técnicas o en la incertidumbre del cambio climático, sino en la consideración de todo el sistema mega-urbano de agua y sus interrelaciones entre las diferentes partes y subsistemas. Por lo tanto, se hace necesario evaluar la práctica tradicional del drenaje urbano, la cual se considera cada vez más alejada de los valores ambientales de la sociedad y dificulta el avance en la búsqueda de entornos urbanos más sostenibles. A los dos objetivos tradicionales del drenaje urbano : (i) proteger y mantener la seguridad y la salud de la comunidad, evitando que las inundaciones interfieran con las actividades de la ciudad y evacuando los desechos humanos para mantener un ambiente sanitarios; y (ii) proteger el entorno natural manteniendo los estándares ambientales cumpliendo los límites de contaminación de los cuerpos de agua y el ambiente, es necesario agregar un tercer objetivo que busca la sostenibilidad del sistema, lo que implica considerar las consecuencias de las prácticas empleadas a largo plazo y a nivel general.

8.3 Soluciones estructurales y no estructurales

Los sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS) se clasifican en dos grandes grupos: los de tipo estructural y los de tipo no estructural. Los de tipo no estructural son una variedad de prácticas institucionales y educativas llamadas comúnmente «control

de fuente o prevención de la contaminación», los cuales buscan reducir o eliminar el ingreso de contaminantes a las aguas lluvias. Estas prácticas no eliminan completamente los contaminantes, pero pueden hacer que los controles estructurales sean más efectivos al reducir las cargas contaminantes que estos últimos pueden manejar.

Los SUDS de tipo no estructural son los siguientes: (i) reducción del consumo; (ii) buenas prácticas en el hogar e industrias; (iii) mantenimiento preventivo de los sistemas de drenaje; (iv) prevención de las descargas puntuales; (v) educación a la comunidad.

Por otro lado, los SUDS de tipo estructural son sistemas que aumentan la infiltración, minimizan el volumen de escorrentía superficial, realizan detenciones temporales o tratamientos temporales de la escorrentía urbana antes de que ésta llegue a los cuerpos receptores de agua. Algunos ejemplos de estos sistemas son estanques de detención, pavimentos permeables, canales vegetados, humedales construidos, entre otros (Durrans, 2003).

En comparación con los sistemas convencionales de drenaje, los cuales están concebidos para recolectar, canalizar y descargar lo más eficiente y rápidamente posible la escorrentía superficial, pero que no consideran la generación considerable de escorrentía urbana y el impacto generado a los cuerpos superficiales de agua, los SUDS buscan mantener las condiciones hidrológicas del lugar antes de la urbanización, minimizando ese impacto. La incorporación de los SUDS en el diseño urbano produce un desarrollo de bajo impacto para el lugar, conservando y mejorando los lugares de alto valor ambiental, para adaptarlos a la nueva condición urbana, lo que implica la utilización de materiales permeables para las zonas duras y de la disminución de las zonas impermeables aprovechando para ello las zonas verdes (jardines, parques públicos, glorietas y separadores), las cuales se diseñan desde la óptica de la hidrología (Fernández, 2011).

Para replicar lo más cercano posible los procesos naturales de la cuenca urbana, propone el empleo de un “tren de gestión”. Este concepto consiste en considerar las siguientes técnicas en orden jerárquico: (i) Prevención. Utilizar buenos diseños y emplear medidas de mantenimiento de los sitios para prevenir la escorrentía y la contaminación, y diseñar e implementar medidas para el aprovechamiento de aguas lluvias o la reutilización; (ii) Control en la fuente. Con-

trolar la escorrentía lo más cercano a las zonas impermeables que la generan (a través de métodos de infiltración o retención); (iii) Control en los sitios. Gestionar el agua en las áreas locales (dirigir el agua de los techos de los edificios, de los parqueaderos a grandes sistemas de detención o infiltración; (iv) Control Regional. Gestionar el agua de varias áreas locales.

La implementación de SUDS en Colombia es bastante reciente y tiene un alto potencial para mejorar la gestión del agua en el área urbana. En nuestro medio aún no se utilizan de manera generalizada, y aun menos como elementos de reducción de la contaminación.

Para el caso de Bogotá, en 2008 el Consejo de la ciudad acordó la creación del Estándar Único de Construcción Sostenible en el Código de la Construcción de Bogotá (Acuerdo 323 de 2008), para así poder evaluar la reducción en el impacto ambiental de una construcción. En 2011, la Secretaría de Ambiente emitió la Resolución No. 5926 con la cual se crea y se regula el Programa de Reconocimiento Ambiental a Edificaciones ECOeficientes (PRECO). Con este programa se busca promover proyectos constructivos ecoeficientes, amigables con el entorno, que propendan por la implementación de nuevas tecnologías que favorezcan la sostenibilidad ambiental.

En Medellín también se desarrolló un manual de gestión ambiental para la construcción, buscando reducir el impacto ambiental en la construcción y actualmente se dicta por parte del Colegio Mayor de Antioquia y la Universidad Nacional un posgrado en construcciones sostenibles.

La experiencia a nivel nacional contempla estudios de viabilidad técnica de los SUDS (Galarza y Garzón, 2005) y de los beneficios por la reducción de los caudales pico de escorrentía urbana (Ávila y Díaz, 2012). Se han desarrollado modelaciones para la ubicación de SUDS (Díaz-Granados *et al.*, 2009), simulaciones y experimentos en modelos a escala en el laboratorio (Gómez *et al.*, 2010; Torres *et al.*, 2011; León y Avellaneda, 2012; Álvarez y Celedón, 2012; Devia *et al.*, 2012; Torres *et al.*, 2012).

En la práctica, en la ciudad de Bogotá se han construido techos verdes productivos para poblaciones vulnerables (Forero *et al.*, 2011) y humedales construidos aledaños a humedales naturales para el control de la contaminación de la escorrentía urbana (Lara-Borrero, 2010). Sin embargo, a estos sistemas no se les ha realizado un monitoreo continuo para estudiar su

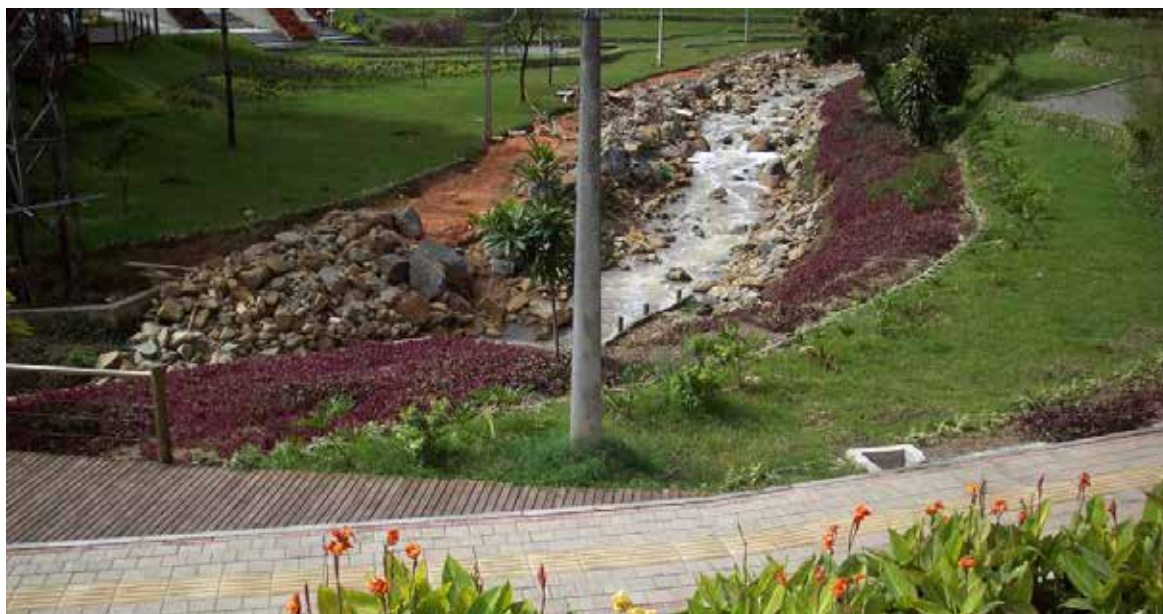
desempeño en cuanto a atenuación hídrica y disminución de cargas contaminantes, entre otros. Por otro lado, en la PUJB, a mediados de 2013, se construyó un sistema humedal-construido/tanque-regulador para tratar las aguas de escorrentía provenientes de un edificio de parqueaderos para su eventual reutilización. Para conocer el comportamiento del sistema a nivel hidráulico y en el mejoramiento de la calidad del agua, se monitoreará (Galarza-Molina *et al.*, 2013).

Con respecto a los techos verdes, se requiere desarrollar estudios de monitoreo y modelación de estos sistemas, tales como: efectos de la vegetación sobre los flujos térmicos, la evapotranspiración a través del suelo y la vegetación, la transferencia de calor, los balances de energía para la vegetación y el sustrato, así como los beneficios económicos obtenidos al implementar techos verdes, los cuales son temas relevantes para las principales ciudades del país.

Con respecto a las construcciones arquitectónicas con enfoque ambiental, en Colombia desde los años 90 se ha avanzado en este tema, pero es en la última década donde más proyectos de instituciones, universidades, cajas de compensación, colegios, hoteles e industrias se han sumado al movimiento global y al paradigma del desarrollo sostenible en ciudades como Bogotá, Medellín, e intermedias como Pereira y Palmira.

De igual manera, en el país se han venido implementando algunas soluciones como los parques lineales, los cuales proveen medidas para mitigar los riesgos de inundaciones y la erosión. A lo largo de un río o quebrada, aquéllos proveen un control natural de inundaciones y reducen la inversión pública en estructuras más complejas. Preservan el paisaje, los recursos naturales y las vistas escénicas. Preservan y mejoran el hábitat urbano. Constituyen un corredor migratorio para las plantas, aves y peces del área. Permiten la proliferación de la vida silvestre. Preservan y protegen la calidad del agua. Mejoran y protegen la calidad del aire, pues constituyen un filtro de los contaminantes. Constituyen por lo tanto un elemento integrador que permite un balance entre la conservación ambiental, el mejoramiento económico y la participación comunitaria. Y aunque se nombran de forma distinta en diferentes países, son una alternativa para mejorar la movilidad individual y la calidad de vida de nuestros pueblos y representan una valiosa aportación en el logro de comunidades sustentables.

Figure 8. Parque Lineal en la quebrada La Presidenta en Medellín



Específicamente, en Medellín se han realizado seis de estos parques lineales: Parque Lineal de la Bermejala, Parque Lineal de La Presidenta (Figura 8), Parque Lineal de Los Sentidos, Parque Lineal de La Hueso, Parque Lineal de La India, Parque Lineal de La Herrera y actualmente acaba de ser elegido por concurso el diseño del Parque Lineal del Río Medellín.

En las zonas urbanas de Colombia, si bien en algunos casos se dispone de un porcentaje alto de zonas verdes, el área en parques y zonas recreativas públicas tiene un valor muy bajo, se presenta invasión de retiros de quebrada por parte de las urbanizaciones, en las que predomina una vegetación seleccionada con criterios estéticos más que ecológicos y, por tanto, se limita su potencialidad para cumplir las múltiples funciones de la vegetación urbana.

Cuando se tiene una mirada integral para la gestión ambiental teniendo como eje de desarrollo el recurso hídrico, se deben disminuir las áreas en conflicto de uso en el área rural, implementando actividades forestales y agrosilvopastoriles en zonas apropiadas para estas actividades. Con estos tratamientos, a través de los parques lineales, se pretende proteger los hábitats para fauna y flora protegiendo los ecosistemas estratégicos, recuperar el valor paisajístico, preservar los suelos y diversificar la oferta ambiental de las áreas forestales para todos los habitantes de las cuencas en general.

También, con el fin de articular funcionalmente las zonas verdes públicas existentes en la zona urbana e integrarlas con los fragmentos de vegetación natural del área rural, es importante la configuración de una red ecológica que incluya actividades de restauración ecológica en las áreas de protección. De esta manera, se dispone de una herramienta de planeación de los espacios verdes urbanos para la recuperación, restauración y conservación de los recursos naturales. Adicionalmente, se induce al establecimiento de una relación más estrecha entre la ciudad y la naturaleza, y un mayor disfrute y valoración de los espacios naturales, lo que redundará en un aumento en el cuidado de estos espacios por parte de la comunidad.

En el país se ha venido avanzando en la necesidad de contar con procesos de planificación urbana que contemplen el análisis de las problemáticas y potencialidades de la cuenca en sus diferentes componentes. Las técnicas de escenarios y la interacción con la comunidad y los entes municipales determinan que el escenario posible, deseable y probable, es aquel cuya meta a corto plazo permita crear unas condiciones favorables para obtener soluciones en forma integral, tanto a las problemáticas socioeconómicas como ambientales encontradas en la cuenca.

9. Conclusiones

- Colombia es uno de los países con mayores recursos hídricos del mundo; sin embargo, éstos no están uniformemente distribuidos.
- Las mayores precipitaciones se encuentran en la costa Pacífica donde alcanzan hasta 12.000 mm de lluvia al año.
- Cerca de 90% de la población está ubicada sobre la cordillera andina, donde la concentración es densa y, por lo tanto, afecta el recurso hídrico en cantidad y calidad. Además, la contaminación de origen doméstico, agrícola e industrial y la deforestación crean enormes limitaciones para su uso.
- El problema más grande es el que la mayor parte de las aguas residuales no son tratadas y, por lo tanto, su reutilización no es posible. Se considera que sólo 3% de las aguas residuales son convenientemente tratadas.
- El problema del agua en Colombia no es su cantidad sino su mal uso. Además, las basuras son una fuente de contaminación en muchas regiones del país, pues son depositadas directamente en las fuentes de agua o en sus orillas.
- En resumen, el problema de calidad y cantidad del agua es más de educación de la población en

su uso y manejo, y de una falta de gobernabilidad y aplicación de las normas existentes.

10. Recomendaciones

- La acción prioritaria es la de planificar el uso de las cuencas y microcuencas, con el fin de garantizar suficiente agua en cantidad y calidad.
- Para ello es necesario controlar la deforestación, el uso de plaguicidas y abonos de manera racional, y fomentar una agricultura sostenible.
- Construir plantas de tratamiento de aguas residuales en todas las ciudades y poblaciones para evitar la contaminación de las fuentes hídricas y, así, poder reutilizar las aguas tratadas.
- Organizar un manejo técnico de las basuras que permita la recuperación de un alto porcentaje de material reciclable.
- Adoptar un sistema de una visión integral del uso y manejo del agua, en el cual se considere la cuenca como la fuente del recurso, la educación de la población en el uso racional y ahorro del agua y las administraciones municipales como responsables del tratamiento de las aguas residuales.

Parques Ecológicos Lineales

En Colombia se han venido desarrollando muchos proyectos de parques lineales, principalmente como una estrategia para cubrir necesidades recreativas, educativas, ambientales, de salud, deportivas y de transporte a las comunidades asentadas en un territorio urbano altamente intervenido.

La administración municipal de Medellín en Antioquia ha desarrollado un programa concreto y decidido en la recuperación de los retiros a corrientes de agua urbana, principalmente a través de la implementación de corredores verdes y de parques lineales. Estos parques lineales han sido una estrategia que no solo responde a los direccionamientos de una administración municipal en términos de inversión, sino que a su vez estos espacios han respondido a las necesidades ambientales, sociales y económicas de las cuencas intervenidas y por ello se han acompañado de la elaboración de los planes de ordenación y manejo de dichas cuencas, se han acompañado de un trabajo y articulación con las comunidades asentadas en la cuenca de estudio y con la aplicación de la normativa colombiana en torno al tema.

El parque lineal de la quebrada La Presidenta es un buen ejemplo de los servicios ambientales, sociales y económicos que brinda este espacio a la ciudadanía. A continuación se describe este proyecto. El Parque Lineal fue un proyecto orientado a vincular efectivamente el espacio público del centro del barrio El Poblado a la red de espacios peatonales, los bordes de retiro y protección de la quebrada La Presidenta, validándolo como una de las acciones piloto del Plan Integral de Ordenación y Manejo de esta microcuenca, y como modelo para otras intervenciones en la región. Adicionalmente, el proyecto buscaba recuperar un corredor natural que contribuya al mantenimiento de la fauna y de la flora y convertirlo en un elemento de calidad urbana, proyectando su futura articulación con otros espacios naturales cercanos y la configuración de una red ambiental a escala zonal, así como contribuir a la configuración de un anillo peatonal periférico en torno al centro del barrio El Poblado, complementado hacia el futuro por la reconquista de los bordes de la quebrada La Poblada, principal afluente de la quebrada La Presidenta y el desarrollo de espacios públicos.

El Parque se diseñó de tal forma que se respetara en lo posible la vegetación existente, predominando lo verde sobre lo gris. Se buscó que en él la comunidad encontrara un ambiente fresco, amable, sereno, donde las especies de árboles, arbustos y de jardín fueran un deleite para la vista y el olfato, y que fueran el hábitat de una gran diversidad de fauna silvestre que pudiera encontrar en el lugar una buena oferta de alimento y de sitios de anidación. El embellecimiento paisajístico tuvo una función ecológica, no fue solo para gratificar la vista de los peatones y usuarios, sino para fortalecer las condiciones ambientales de dicha intervención como corredor biológico de fauna y flora, así como de espacio para la mitigación del riesgo de inundaciones que se da en el sector.

Propuesta de áreas de desarrollo del parque lineal cuenca de La Presidenta



The architectural design of the stretch to be developed is displayed below



Current view of the linear park of the microbasin of the La Presidenta ravine in Medellín (Antioquia - Colombia)



Huella Hídrica

El indicador de huella hídrica fue desarrollado por los investigadores A. Hoekstra y A. Chapagain en 2003 y se basa en un desarrollo más amplio de dos conceptos desarrollados previamente: el primero de ellos es el concepto de agua virtual propuesto por J.A. Allan en 1993 y, el segundo, es el concepto de agua verde por M. Falkenmark en 1995. Estos dos conceptos proveen la mayor parte de la base conceptual y metodológica de la huella hídrica.

A nivel internacional, la organización que ha liderado la estandarización del concepto, su metodología de cuantificación y la guía de aplicación de evaluación es la Water Footprint Network (WFN).

El concepto de Huella hídrica permite considerar el uso del agua oculta a lo largo de la cadena de producción de bienes o servicios de consumo, dando información sobre los efectos sobre el agua asociados a los hábitos de vida de las personas o poblaciones o de producción de gremios o empresas. Este indicador multidimensional muestra los consumos de agua, según su origen, y los volúmenes de agua requeridos para la asimilación de la contaminación generada. Los componentes de la huella hídrica son explícitos geográfica y temporalmente.

La huella hídrica tiene diversas aplicaciones que incluyen la visión desde el consumo o la producción, para una persona o un grupo de personas, un productor o un grupo de productores, un producto o un grupo de productos, un área geográficamente delimitada como la cuenca.

La huella hídrica tiene tres componentes:

La huella hídrica verde

Se refiere al consumo de agua almacenada en el suelo proveniente de la lluvia y que mantiene la vegetación sin necesidad de riego. Satisface una demanda sin requerir para ellos de intervención humana.



La huella hídrica azul

Se refiere al consumo de agua, asociado a una extracción de fuente superficial y/o subterránea para satisfacer la demanda originada en un proceso. Cuantifica la pérdida de agua disponible (evaporación, cambio de cuenca o incorporación a un producto), a causa de consumo determinado. Requiere de intervención humana.



La huella hídrica gris

Se define como el volumen de agua dulce necesario para asimilar la carga de contaminantes por parte de un cuerpo receptor, tomando como referencia las normas de calidad ambiental, asociando los límites establecidos a una calidad buena para el ambiente y para las personas.



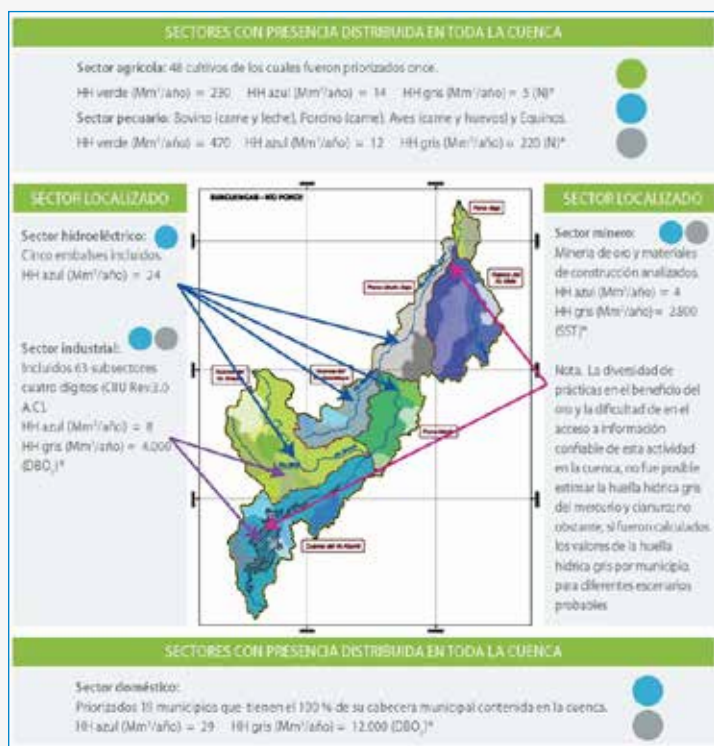
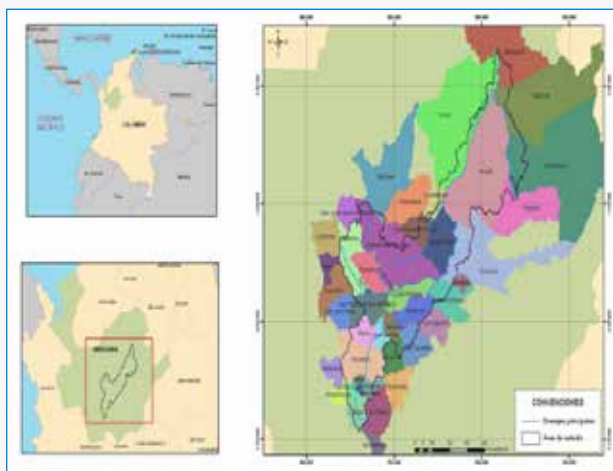
Muchos países, sectores económicos y empresas han comenzado a incorporar en su sostenibilidad ambiental la evaluación de la huella hídrica, sin embargo, en las Américas, Colombia es el país que cuenta con más avances. Se determinó la huella hídrica del sector agrícola en Colombia en 2010; más de 10 grandes empresas han evaluado sus huellas hídricas corporativas y se desarrolló con toda la rigurosidad de la metodología de la Water Footprint Network la evaluación de la cuenca del Río Porce. Esta última es un ejemplo único hasta el momento, no solo en Las Américas, sino también a nivel mundial. Adicionalmente, la madurez del conocimiento en torno a la huella hídrica en Colombia ha logrado que el documento de mayor consulta en temas de agua en el país y base para la toma de decisiones en torno al tema, el Estudio Nacional del Agua, decida que este año el concepto de huella hídrica sea parte de tan importante documento.

A continuación se plasman como experiencia algunos de los resultados de la evaluación de la huella hídrica en la cuenca del Río Porce

Caracterización geográfica:

La cuenca del Río Porce tiene un área de 5.248 km² y se encuentra localizada en el departamento de Antioquia, sobre la Cordillera Central colombiana. El nacimiento de su cauce principal está definido por el Río Aburrá, que nace en el Alto de San Miguel en el municipio de Caldas; tras un recorrido total de 252 km vierte sus aguas al Río Nechí en el municipio de Zaragoza. La topografía de la cuenca es irregular y pendiente, con altitudes que oscilan entre los 80 y 3.340 msnm. La división político-administrativa de la cuenca tiene 29 municipios, los cuales están total o parcialmente contenidos en la cuenca.

El estudio se realizó en la cuenca teniendo en cuenta seis sectores económicos: sector agrícola, se identificaron 48 productos importantes en la cuenca; sector pecuario, se tuvo en cuenta los bovinos, equinos, porcinos y aves; sector energético, incluyendo el análisis para los cinco embalses que hay en la cuenca y que producen 16% de la energía del país; sector industrial, involucrando los 56 subsectores más importantes, teniendo en cuenta que esta cuenca tiene los tres municipios con mayor índice industrial de Colombia; sector doméstico, teniendo en cuenta que en esta cuenca está la segunda ciudad con mayor población del país; sector minero, ya que en la zona baja de esta cuenca hay una alta actividad minera tanto formal como no formal. Los análisis permitieron obtener los siguientes resultados:



Como etapa final se desarrolló un proceso de construcción gradual y colectiva de las acciones necesarias para aportar a la solución de las problemáticas identificadas en la cuenca del Río Porce, y que fueron el resultado de la evaluación de la huella hídrica en el territorio. Este proceso contó con la participación de diferentes instituciones públicas, académicas, económicas, comunitarias y organizaciones no gubernamentales que aportaron su conocimiento y su experiencia durante todo el proceso, dando lugar a lineamientos de política y definición de los proyectos prioritarios para implementar en la cuenca y disminuir su huella.

Recuadro 4

Se compararon las tres huellas hídricas obtenidas en la cuantificación (incluyen un análisis sectorial y multisectorial) con las características en el territorio asociadas al significado de cada una de las huellas, en diferentes escenarios actuales, posibles y deseados, según los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas y las metas de conservación y protección ambiental establecido para los ríos y quebradas por parte de las Autoridades Ambientales que tienen atribución en la cuenca, logrando obtener la identificación de más de 100 puntos críticos, temporal y geográficamente explícitos, de forma que puedan ser utilizados para la toma de decisión efectiva.



Taller de formulación de estrategias de respuesta y lineamientos de política



Uno de los principales logros del proyecto lo constituyó el proceso multidisciplinario e interinstitucional desarrollado, que contó con la participación de entidades públicas y privadas y principales actores sociales con presencia en la cuenca (autoridades ambientales y territoriales con jurisdicción en la cuenca, empresas y cooperativas prestadoras de servicios públicos, universidades, organizaciones no gubernamentales, ciudadanos y comunidades), que de manera voluntaria, unieron sus esfuerzos y trabajaron en la construcción y desarrollo colectivo de este proyecto para obtener un resultado común, que permite tener una mirada multisectorial del uso del agua (alteración de la disponibilidad en términos de cantidad y calidad) en un territorio compartido.

El proyecto de evaluación de la huella hídrica en la cuenca del Río Porce se presenta como una herramienta para informar en el proceso de toma de decisiones para la gestión integrada del agua y, según el conocimiento de los autores de este estudio, representa un avance en cuanto al estado del arte de la huella hídrica, luego de ser desarrollado bajo un enfoque de trabajo participativo que incorpora a los tomadores de decisión de la cuenca, tanto en el desarrollo operativo como para el diseño y formulación de estrategias de reducción de la huella hídrica.

La huella hídrica ha probado ser una herramienta robusta para comunicar resultados comprensibles para todos los sectores y los actores presentes en la cuenca. Los resultados y conclusiones del estudio (a nivel de cuenca) muestran que son complementarios con los resultados obtenidos en otras aplicaciones de la evaluación de huella hídrica (aplicación corporativa, nacional y global), y apuntan a convertirse en una herramienta que apoya otros indicadores diseñados para la gestión integral de recursos hídricos, en los contextos local y nacional.

Una recomendación central planteada durante el desarrollo del proyecto y las jornadas de discusión, fue el mantener el enfoque de cuenca como unidad de análisis básica de la huella hídrica, siendo éste el estudio base que complementa y se complementa con otras aplicaciones

de la huella hídrica, micro (empresa o producto) y macro (país o escala geográfica superior). Para el caso particular de la aplicación corporativa, se instó a la reflexión para que las empresas contextualicen sus resultados de huella hídrica y orienten sus acciones de respuesta, como actores proactivos dentro de la cuenca, teniendo presente el lugar donde se genera su impacto por los usos del agua, transfiriendo los beneficios del uso del agua a las comunidades y el territorio donde realizan su actividad económica, así como incluyendo a los actores presentes en las mismas, con quienes se comparten recursos, riesgos y desafíos frente a la sostenibilidad



11. Referencias

- ACNUR, 2003. La población desplazada por la violencia en Bogotá, una responsabilidad de todos. Colombia: Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados (ACNUR). Available at: http://www.acnur.org/t3/uploads/media/La_poblacion_desplazada_en_Bogota_una_responsabilidad_de_todos.pdf.
- Acuerdo 323, 2008. Propiedad de la Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Bogotá D.C. 24 de septiembre de 2008.
- Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría de Planeación, 2007. Encuesta Calidad de Vida 2007, Bogotá: Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. Available at: http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/condiciones_vida/ecvb/ECVB_07.pdf.
- Álvarez, J. y E. Celedón 2012. "Evaluación de las capacidades hidráulicas y de retención de contaminantes de un modelo de trinchera de retención construida con una canastilla en PVC (Aquacell) acoplada con capa filtrante en geotextil, arena y grava utilizada como componente del drenaje urbano". Trabajo de grado para la obtención del título de Magíster en Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, Bogotá.
- Araújo, J. y M. 2010. "Metodología Para Estimar Concentraciones De Contaminantes En Tiempo Real a Partir De Mediciones De Turbiedad". Trabajo de grado para la obtención del título Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, Bogotá.
- Ardila, F., 2012. "Modelación Guiada por Dato para el Pronóstico de la Lluvia en la Ciudad de Bogotá". Trabajo de Grado Maestría En Hidrosistemas, Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil.
- Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Américas- ADERASA. Grupo Regional de Trabajo de Benchmarking – GRTB, Informe anual-2012. Datos año 2011. Septiembre de 2012.
- Ávila, H., Alvarado, M., De la Hoz I, Ávila, B., 2012. "Perspectivas Del Riesgo De Inundación En Poblaciones Vulnerables". XX Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología Barranquilla, Colombia, 8 al 10 de Agosto de 2012.
- Ávila, H., Diaz, K.S. 2012. "Disminución Del Volumen De Escorrentía En Cuencas Urbanas Mediante Tecnologías De Drenaje Sostenibles". XX Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología Barranquilla, Colombia, 8 al 10 de Agosto de 2012.
- Ávila, H., Sisa, A. 2012. "Alternativas de manejo sostenible de cuencas urbanas para el control de la escorrentía pluvial en la ciudad de Barranquilla". XX Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología Barranquilla, Colombia, 8 al 10 de Agosto de 2012.
- Balcazar, C., 2008. Agua y saneamiento para las zonas marginales urbanas de America Latina, The World Bank. Available at: <http://documents.worldbank.org/curated/en/2008/07/16699647/agua-y-saneamiento-para-las-zonas-marginales-urbanas-de-america-latina> [Accessed August 30, 2013].
- Bernal, A. & Rivas, L., 2011. Local development in peri-urban and rural areas based on co-management for small water supplies in Colombia. In 11th edition of the World Wide Workshop for Young Environmental Scientists (WWW-YES-2011) - *Urban Waters: resource or risks?* Arcueil, Francia, p. 8.
- Botero, B., Cortés, A. 2010. "Análisis de la variabilidad espacial de la precipitación sobre la ciudad de Manizales". XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica Punta del Este, Uruguay, 21 al 25 de Noviembre de 2010.
- Botero, B.A., 2009. Análisis de la variabilidad de la magnitud e intensidad de la lluvia sobre la ciudad de Manizales. Encuentro Nacional de Investigación en Posgrados ENIP Bogotá, Colombia, 2 al 4 de Diciembre 2009.
- Buitrago, N.F., Camacho, L.A., 2012. "Metodología de caracterización de la cantidad y calidad del agua de escorrentía de techo para el prediseño de piscinas de retención". XXV Congreso Latinoamericano De Hidráulica San José, Costa Rica, 9 al 12 de septiembre de 2012.

- Buitrago, M. 2011. "Cuantificación y Caracterización de la Calidad de Agua de Escorrentía de Techo para el Prediseño de una Piscina de Retención en el Campus de la Universidad Nacional de Colombia". Trabajo de Grado Magister en Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, 2011.
- Campos, C., Torres, F. Moreno, G., Galarza-Molina, S., Contreras, A, Gómez, C. Salgot, M. 2011. "Propuesta de reutilización para el efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales el Salitre. Bogotá-Colombia". Simposio 2011: Singularidades en la Reutilización de las Aguas Residuales, Barcelona, España, 27 de octubre de 2011.
- Cárdenas Quiroga, A. & Solano Peña, J.M., 2007. Determinación de la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos del sector rural de la localidad de Usme, Bogotá D.C, con miras a la formación de los lineamientos de un plan de gestión ambiental, con énfasis en el recurso hídrico de la zona. Trabajo de grado Maestría en gestión ambiental. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Carvajal, Y. 2007. "Retos y desafíos del cambio climático para las zonas urbanas". Seminario/Taller Internacional Gestión del Agua en Asentamientos Urbanos para América Latina y el Caribe, Cali, Colombia. 19 al 21 de septiembre de 2007. Castañeda, P. 2010. Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas. Trabajo de grado de especialización, Antioquia Universidad de Antioquia, Medellín, 2010.
- Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, et al, 2007. Formulación del plan de manejo de la microcuenca de la quebrada La Presidenta.
- Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, et al, 2013. Evaluación de la huella hídrica en la cuenca del río Porce.
- CODHES, 2006. Los señores de la guerra: del campo a la ciudad en Colombia. *Revista Foro*, 59.
- Colombia, Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. Sistema único de registro de Servicios Públicos 1994 y 2013.
- Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008. *Política de Gestión ambiental Urbana*, Bogotá, D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Colombia, MAVDT - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - y DNP - Departamento Nacional de Planeación-. Plan nacional de manejo de aguas residuales municipales en Colombia. MinVivienda, Viceministerio del Agua. Junio de 2004. Acceso 1 de agosto de 2013. < http://www.minvivienda.gov.co/Agua/Programas/Documents/PLAN_NACIONAL_DE_MANEJO_DE_AGUAS_RESIDUALES_MUNICIPALES_EN_COLOMBIA.pdf>
- Colombia, Ministerio de la protección social & Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial, 2007. Resolución 2115 de 2007, Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. En diario oficial No. 46.679 de 4 de julio de 2007., Bogotá.
- Colombia, Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Reportes de información al Sistema Único de Información (SUI) 2006, 2007, 2012.
- Colombia, Superintendencia de servicios públicos domiciliarios, 2010. Presentación Institucional. In Congreso Nacional de Acueductos Rurales. Sabana, Antioquia.
- Colombia. Defensoría del Pueblo., 2005. Diagnóstico sobre la calidad del agua para el consumo humano en Colombia, en el marco del derecho humano al agua. Informe Defensorial No. 39., Bogotá: Colombia. Defensoría del Pueblo.
- Copete, J., Obregón, N., Rodríguez, G., García, J., Salinas, S. 2012. "Implementación del radar meteorológico para el área urbana de la ciudad de Bogotá y sus aplicaciones asociadas al fenómeno de la precipitación: selección del lugar de emplazamiento". XX Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología Barranquilla, Colombia, 8 al 10 de Agosto de 2012

- Cortés, A. 2010. "Análisis de la variabilidad espacial y temporal de la precipitación en una ciudad de media montaña andina: Caso de estudio Manizales". Trabajo de Grado Maestría Medio Ambiente y Desarrollo, Universidad Nacional de Colombia – Manizales, 2010.
- DANE, Censo General 1993 y 2005, Nivel Nacional. República de Colombia, Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Bogotá D.C.
- DANE, Gran Encuesta Integrada de Hogares (GEIH) 2008 y 2011, Nivel Nacional. República de Colombia, Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Bogotá D.C.
- DANE. Estadísticas Vitales 2012. República de Colombia, Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Bogotá D.C. 2012.
- Decreto 1594 de 1984. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Diario Oficial 36700 de julio 26 de 1984.
- Decreto 3100 de 2003. Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones. Diario Oficial 45357 de octubre 31 de 2003
- Decreto 3440 de 2004. Por el cual se modifica el Decreto 3100 de 2003 y se adoptan otras disposiciones. Diario Oficial 45713 de octubre 26 de 2004.
- Decreto 3930 de 2010. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial 47837 de octubre 25 de 2010.
- Devia, C., Puentes, Á., Oviedo, N., Torres, A. y Angarita, H. 2012. "Cubiertas verdes y dinámica hídrica en la ciudad". XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica San José, Costa Rica, 9 al 12 de Septiembre de 2012.
- Díaz-Granados, M.A., Rodríguez, J.P., Rodríguez Susa, M.S., Penagos, J.C., Camacho Botero, L.A., Achleitner, S., Maksimovic, C., McIntyre, N. 2009. "Towards a paradigm shift in urban drainage management and modelling in developing countries". *Revista De Ingeniería Universidad de los Andes*, 30, 133 – 150.
- Durrans, S.R y Haestad Methods, Inc. Stormwater Quality Management, Chapter 15. Stormwater Conveyance Modeling and Design. Estados Unidos, 2003.
- EM-DAT., 2011. "Disaster Profiles". *The OFDA/CRED International Disaster Database*. September 20, 2011 <http://www.emdat.be/database>
- Echeverri, A. F., Madera, Carlos A.; Urrutia, N. 2012. Comparación de la calidad agronómica del efluente de la PTAR-c y el agua subterránea con fines de uso en riego de caña de azúcar. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente: Universidad del Valle*, 11: 21-27
- EEA, 2012. Towards efficient use of water resources in Europe. European Environment Agency, EEA Report No1/2012, 68pp. Copenhagen.
- Ernesto Sánchez-Triana, Kulsum Ahmed y Yewande Awe. Prioridades ambientales para la reducción de la pobreza en Colombia. Un análisis ambiental del país para Colombia. Banco Mundial en coedición con Mayol Ediciones S.A. 2006.
- Feres, J.C. 2001. El Método de las Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) y sus Aplicaciones en América Latina, United Nations Publications.
- Fernández, B. 2011. *Agua y ciudad*. Centro de Aguas Urbanas. 09 de febrero de 2011. <http://www.centroaguasurbanas.cl/>
- Forero, C., Devia, C., Torres, A., Méndez-Fajardo, S. 2011. "Diseño de ecotechos productivos para poblaciones vulnerables". *Revista Acodal*, 2011
- Galarza, S., Garzón, F. 2005, "Estudio de viabilidad técnica de los sistemas urbanos de drenaje sostenible para las condiciones tropicales de Colombia". *Epiciclos*, 4 (1): 59 – 70.

- Galarza-Molina, S.L., Torres, A. 2013. "Constructed-wetland/reservoir-tank system used for rainwater harvesting in an experimental catchment". Ingeniería y Universidad: Evento: UrbanGreen, submitted.
- Galvis, A. 1987. "Modelos Simplificados en Hidrología Urbana. El Escurrimiento Superficial Modificado". XXX Congreso Nacional de ACODAL. Santiago de Cali.
- Galvis, A., Delgado, A., Pulido, S., 2007. "Modelación Hidrodinámica del sistema de drenaje urbano de la ciudad de Cali en el área de influencia del río Cali". En: *Avances en investigación y desarrollo en agua y saneamiento para el cumplimiento de las metas del milenio*. 1 ed. Cali: Programa Editorial Universidad del Valle.
- Gómez González, G.A., Rodríguez Benavides, A.F. y Torres, A., 2010. "Durabilidad de las capacidades filtrantes de la capa de rodadura de un Pavimento Poroso Rígido". XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica Punta Del Este, Uruguay, Noviembre 2010.
- Guerrero, L.A., Maas, G. & Hogland, W., 2013. Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Management*, 33(1), pp.220–232.
- Hernández, L., Cubillos, C.E. Una metodología para evaluar el riesgo público por inundación a partir del sistema de drenaje pluvial urbano, caso de la subcuenca Salitre, Bogotá, Colombia XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica San José, Costa Rica, 9 al 12 de Septiembre de 2012
- Hoyos, N., Escobar, J., Restrepo, J., Arango, A., Ortiz, J. (2013). "Impact of the 2010e2011 La Niña phenomenon in Colombia, South America: The human toll of an extreme weather event". *Applied Geography*, 39, 2013: 16-25
- IDEAM. Informe anual sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables en Colombia: estudio nacional del agua: relaciones de demanda de agua y oferta hídrica. Bogotá: Ideam (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), 2008.
- IDEAM, Estudio Nacional del Agua, Bogotá: Ideam (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), 2005.
- IDEAM, Estudio Nacional del Agua, Bogotá: Ideam (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), 2008.
- IDEAM, Estudio Nacional del Agua, Bogotá: Ideam (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), 2010.
- Jaramillo (2010.) Potencial de reuso de agua residual doméstica como estrategia para el control de la contaminación por agua residual en el valle geográfico del río Cauca. *SWITCH: Managing Water for the City of the Future, PhD and MSc Theses / Reports*. 2010. Accessed august 1 2013. <http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/W5-3_GEN_PHD_D5.3.12_MSc_Jaramillo_Reuse_of_domestic_wastewater.pdf>
- Jiménez, A. "Instrumentación y análisis de la variación espacial y temporal de la precipitación y su impacto en la respuesta de una cuenca urbana. Campus Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá". Trabajo de Grado Magister en Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, 2008.
- Lara-Borrero, J.A., Torres, A., Campos, M., Duarte, L., Echeverri, J.I., Villegas, P.A. "Aprovechamiento del agua lluvia para riego y para el lavado de zonas duras y fachadas en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá)". *Ingeniería y Universidad*, 11(2), 2007: 193-202. ISSN 2011-2769.
- Lara-Borrero, Jaime. "Humedales construidos para el control de la contaminación proveniente de la escorrentía urbana". *Revista Acodal*, 226 (1), 2010: 19 – 27.
- Lasso, Julián, Ramírez, José L. "Perspectivas generales del efecto del reuso de aguas residuales para riego en cultivos para la producción de biocombustibles en Colombia". *El Hombre y la Máquina: Universidad Autónoma de Occidente*, 36, 2011: 95-105.

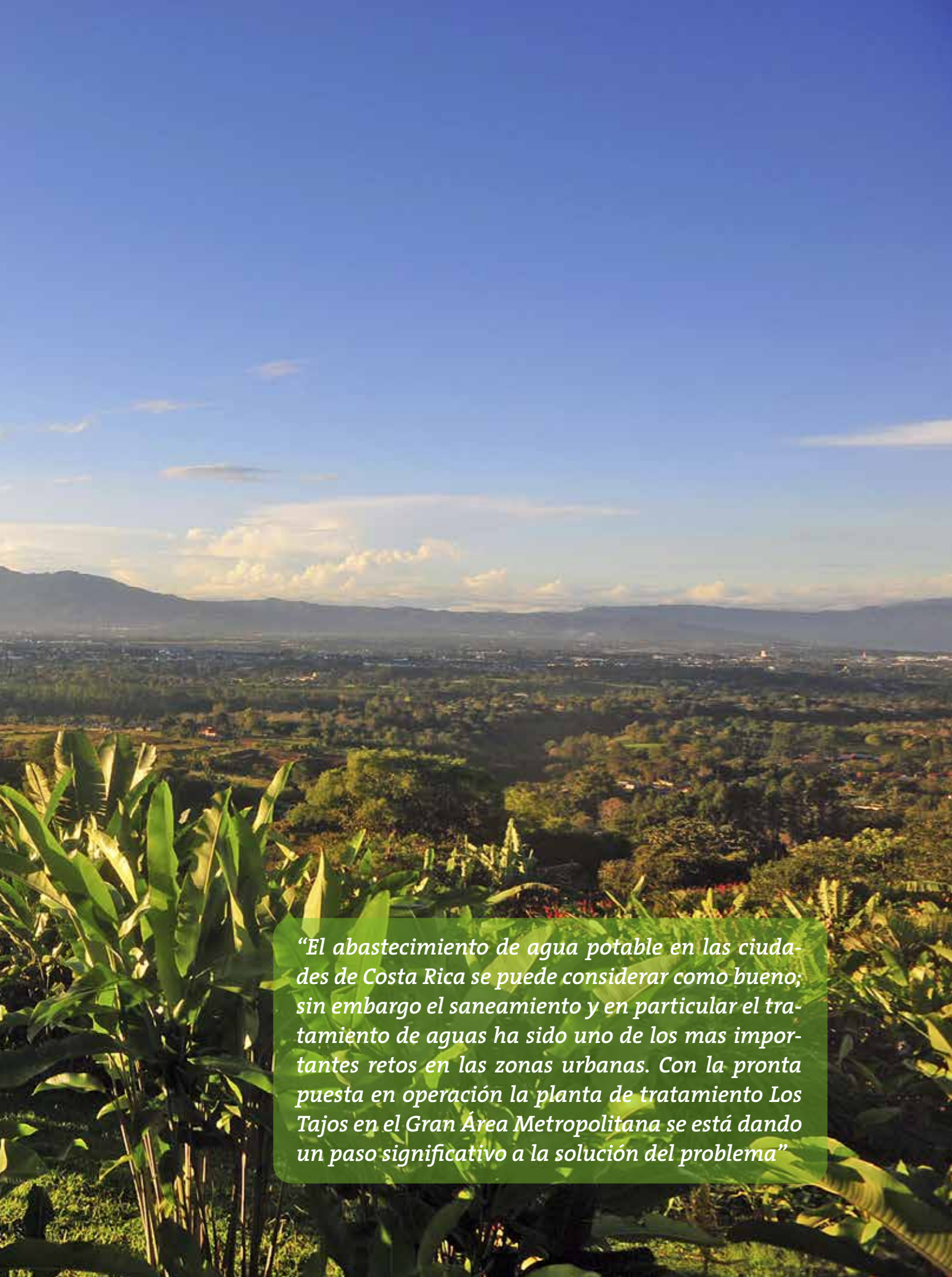
- León, E., Avellaneda, P. "Evaluación de una cubierta verde como sistema de drenaje urbano sostenible". XX Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología Barranquilla, Colombia, 8 al 10 de Agosto de 2012.
- Ley no.373 1997. Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Diario Oficial de Colombia No. 43.058 de 11 de junio de 1997
- Madariaga, Camilo, Mosquera, Mario, Manga, José, Gallardo, Luz D. "La dinámica urbana desde la perspectiva social y comunicación alrededor de las aguas residuales en la Guajira (Colombia)". *Investigación y Desarrollo: Universidad del Norte*, 13 (1), 2005: 204-227.
- Madera, C., P.V. Steen y H. Gijzen. "Comparison of the agronomic quality of effluents from conventional and duckweed waste stabilisation ponds for reuse in irrigation". Seminario internacional sobre métodos naturales para el tratamiento de aguas residuales domésticas y sus implicaciones ambientales y de salud pública, Cartagena, Colombia, 29 de septiembre al 2 de octubre 2003.
- Manga, J., Logreira, N., Serralt, J. "Reuso de aguas residuales: Un recurso hídrico disponible". *Ingeniería y Desarrollo: Universidad del Norte*, 9, 2001: 12-21.
- Osorio, Juliana A. "Estrategia de evaluación de usos conjuntivos del agua, incluyendo reuso para contribuir con la seguridad alimentaria de distritos agroalimentarios proyectados en el Valle del Cauca, Colombia". Trabajo de grado para la obtención del título Magister en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali, 2006.
- Quintero, F, Sempere-Torres, D, Berenguer, M, Baltas, E. "A scenario-incorporating analysis of the propagation of uncertainty to flash flood simulations". *Journal of Hydrology*, 460-461, 16 August 2012: 90-102.
- Rada Ariza, Angélica, Torres, Andrés. "Preliminary Assessment of the Influence of Salitre Basin Rainfall on the Pumping Operation of Salitre Wastewater Treatment Plant (Bogota)". 12th International Conference on Urban Drainage, Porto Alegre, Brazil, 11-16 September of 2012.
- Ramírez-Fonseca, J. A. "Construcción verde en concreto: arquitectura bioclimática, sostenible y autosuficiente". *Noticreto: La Revista de la Técnica y la Construcción Colombiana*, (93), 2009: 20-27.
- Resolución 1433 de 2004. Por la cual se reglamenta el artículo 12 del Decreto 3100 de 2003, sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV, y se adoptan otras determinaciones. Diario Oficial 45774 de diciembre 27 de 2004.
- Resolución No. 5926. Registro Distrital 4758 de octubre 24 de 2011. Bogotá D.C., 20 de octubre del año 2011
- Rogelis, M.C, Werner, M. G. F. "Spatial interpolation for real time rainfall field estimation in areas with complex topography". *Journal of Hydro-meteorology*, 14, 2012: 85-104, doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JHM-D-11-0150.1>
- Salgado, L., Dickson, Y. "Análisis de las relaciones lluvia-escorrentía en el casco urbano de Loricá y sus efectos sobre el actual sistema de drenaje pluvial". XX Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología Barranquilla, Colombia, 8 al 10 de Agosto de 2012.
- Sandoval, Santiago, Torres, Andrés, Obregón, Nelson. "Herramientas para la implementación de mantenimiento proactivo en alcantarillados urbanos utilizando confiabilidad de inundación y conceptos de entropía de información". *Revista Facultad De Ingeniería*, Universidad de Antioquia, 65 (1), 2012: 152 - 166.
- Santos, A.C. "Implementación de un Modelo de Automata Celular en el Estudio del Pronóstico Espacial y Temporal de la Precipitación. Caso de Estudio Bogotá". Trabajo de Grado Magister en Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, 2011.
- Silva, Jorge, Torres, Patricia, Madera, Carlos. "Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión". *Agronomía Colombiana*, 26 (2), 2008: 347-359
- Silva, Jorge. "Reuso del efluente de la planta de tratamiento de agua residuales de Cañaveralejo PTARC en el riego de Caña de azúcar," Trabajo de grado para la obtención del título Maegister en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali, 2008.
- Sisa, A., Ávila, H. "Caracterización de cuencas y estimación de escorrentía superficial en las cuencas urbanas de la ciudad Barranquilla". XX Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología Barranquilla, Colombia, 8 al 10 de Agosto de 2012.

- Suárez, J.N. "Propuesta metodológica para el estudio del proceso lluvia-escorrentía en cuencas urbanas de ciudades de media montaña andina. Caso de estudio cuenca experimental Quebrada San Luis. Manizales". Trabajo de Grado Maestría Medio Ambiente y Desarrollo, Universidad Nacional de Colombia – Manizales, 2008.
- SWITCH. Managing Water for the City of the Future: *The SWITCH Approach to Strategic Planning*. Loughborough University. 2013 Accessed august 1 2013.<<http://www.switchurbanwater.eu/about.php>>
- Torres, A. et al., 2013. The Quality of Rainwater Runoff on Roofs and Its Relation to Uses and Rain Characteristics in the Villa Alexandra and Acacias Neighborhoods (Locality of Kennedy, Bogota, Colombia). *Journal of Environmental Engineering*, 139(10), 1273–1278.
- Torres, Andrés, Ortega Suescun, Diana M., Herrera Daza, Eddy. "Propiedades filtrantes de los pavimentos porosos rígidos". *Gestión Integrada del Recurso Hídrico Frente al Cambio Climático*. Cali: Programa Editorial Universidad Del Valle, 2011
- Torres, Andrés, Santa, Adriana L., Quintero, José A. "Desempeño hidráulico de un modelo de trinchera de retención utilizada como componente del drenaje urbano". *Revista Acodal*. 229 (1), 2012: 19 – 27.
- UNGRD-Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. *Tabla consolidada de eventos de desastres en Colombia*. Bogotá: UNGRD, 1998-2011.
- United Nations, 2004. *World Urbanization Prospects: the 2003 Revision.*, New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division.
- United Nations Development Programme, 2006. *Human development report 2008: beyond scarcity: power, poverty and the global water crisis*, Basings-toke; New York: Palgrave Macmillan.
- United Nations Human Settlements Programme & Global Urban Observatory, 2003. *Slums of the world: the face of urban poverty in the new millennium?*, Nairobi, Kenya: United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT).
- Universidad de los Andes y Ministerio de Medio Ambiente. Estudio Bases para la formulación de un Plan Nacional de Aguas Residuales, 2002.
- Valencia, E. Potencialidad del reuso del efluente de una laguna facultativa en irrigación comparación de la producción utilizando dos hortalizas regadas con efluente y agua subterránea. Cali: Universidad del Valle, 1998.
- Valencia, Eduardo, Romero, Jonathan, Aragón, Renso A. "Esquema metodológico para la reutilización de aguas residuales domésticas tratadas en riego". *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente: Universidad del Valle*, 9, 2010: 55-59.
- Vanegas-Galvez, Mario, CEPIS; OPS; OMS; IDRC. "Estudio general sobre la situación de las aguas residuales de la ciudad de Ibagué, Colombia". *Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental* –BVDSDE Organización Panamericana de la Salud. Mayo 2001. Acceso:1 de agosto de 2013 <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/proyecto/generales/casos/ibague.pdf>
- Vargas, A., Santos, A., Cárdenas, E., Obregón, N. "Consideraciones en la estimación de los campos de precipitación en la ciudad de Bogotá". XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica Punta del Este, Uruguay, 21 al 25 de Noviembre de 2010
- Vargas, A., Santos, C., Cárdenas, E., Obregón, N. "Análisis de la distribución e interpolación espacial de las lluvias en Bogotá". *Revista DYNA*. 167, 2011: 150-158.
- Vélez, J., Botero, B.A. (2011). "Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la Quebrada San Luis – Manizales". *Revista DYNA*, 165, 2011: 58-71.
- Vélez, J., Ortiz, C., Múnera, C., Barbosa, S., García, D., Cadavid, J.D., Carvajal, L.F., Rodríguez, E., Camacho L. "Metodología Balance Hídrico en una Cuenca Sanitaria mediante Modelación Hidráulica". XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica Punta del Este, Uruguay, 21 al 25 de Noviembre de 2010.
- World Health Organization, Unicef. *Progress Sanitation and Drinking Water*. France, 2013.

Costa Rica



Vista de San José, la capital de Costa Rica, desde las faldas del Volcán Poás. Foto: ©iStock.com/pilesasmiles.



“El abastecimiento de agua potable en las ciudades de Costa Rica se puede considerar como bueno; sin embargo el saneamiento y en particular el tratamiento de aguas ha sido uno de los mas importantes retos en las zonas urbanas. Con la pronta puesta en operación la planta de tratamiento Los Tajos en el Gran Área Metropolitana se está dando un paso significativo a la solución del problema”

Las aguas urbanas en Costa Rica

Hugo G. Hidalgo León, Carolina Herrero Madriz,
Eric J. Alfaro Martínez, Ángel G. Muñoz,
Natalie P. Mora Sandí, Darner A. Mora Alvarado,
y Víctor H. Chacón Salazar

Resumen

Se presenta una síntesis de los principales temas relacionados con las aguas urbanas como lo son el abastecimiento, el saneamiento, la salud, las dimensiones físicas y humanas, las inundaciones y la variabilidad y cambio climático que afecta a las ciudades. En general, se encontró que salvo algunas ciudades que presentan problemas, en Costa Rica el suministro de agua es bastante bueno. Sin embargo, el saneamiento (especialmente relacionado con el tratamiento de aguas negras) es un problema que apenas se está empezando a abordar. La cobertura sanitaria en las zonas urbanas en el año 2000 era de 96%, compuesta por 34% con disponibilidad de alcantarillado sanitario y disponibilidad de tanque séptico de 62%. En 2009 se mantiene el porcentaje de que únicamente menos de 4% de las aguas recolectadas urbanas tiene tratamiento. En cuanto a la salud, mucha de la explicación de los relativos buenos indicadores en este respecto está relacionada con el sistema solidario de salud social, pero también debe darse crédito al efecto de la disponibilidad generalizada de agua potable en gran parte de las zonas urbanas. En Costa Rica los avances han sido muy satisfactorios, alcanzando en 2012 un 98% de cobertura con agua por cañería intradomiciliar y 99% con fuentes de agua potable mejoradas.

Costa Rica está influenciada por diversos fenómenos climáticos naturales de gran escala, como El Niño-Oscilación del Sur, las variaciones climáticas del Atlántico, la influencia del Centro de Convergencia Intertropical, el chorro de bajo nivel del Caribe y otros. Asimismo, durante las últimas décadas Centroamérica ha experimentado cambios en variables hidrometeorológicas que en tales tendencias sugieren orígenes antrópicos. Las tendencias en temperatura hacia noches y días más cálidos son bastante consistentes, mientras que las tendencias en precipitación (lluvia) han sido menos consistentes y claras (en unas estaciones hay tendencias positivas y, en otras, negativas). Además, en la ciudad capital de Costa Rica

(San José) y en la capital de Honduras (Tegucigalpa) se han encontrado reducciones de escorrentía superficial importantes a partir de la década de los 80, posiblemente asociados con el aumento en las pérdidas por evapotranspiración debido al incremento de las temperaturas. Las proyecciones con modelos apuntan hacia una Centroamérica más seca a final del siglo, especialmente en la parte norte (reducciones de escorrentía de alrededor de 30%), mientras que en la parte sur es menos severa (reducciones de escorrentía de 10%). Estos cambios toman más relevancia cuando se examinan a la luz de las diferencias socioeconómicas entre el norte y el sur de Centroamérica, y cuando se consideran vulnerabilidades propias de los países del área, como la dependencia de agricultura de subsistencia en algunas regiones o la vulnerabilidad de la sociedad ante eventos hidrológicos extremos. Sistemas de análisis y de pronóstico pueden ayudar a reducir estos riesgos.

1. Introducción

Aunque en términos de suministro de agua potable Costa Rica en general tiene una condición bastante buena, las ciudades costarricenses tienen los típicos problemas de las grandes urbes latinoamericanas, como lo son: déficit de suministro de aguas en algunas regiones puntuales, contaminación de ríos e inundaciones. En Costa Rica el agua es un recurso relativamente abundante, ya que en términos globales es un país con bajo estrés hídrico. Sin embargo, esas cifras nacionales esconden el problema de disponibilidad de agua en algunos lugares, especialmente en la región oeste del Gran Área Metropolitana (GAM), que comprende a San José y ciudades circundantes (Hidalgo, 2012). La contaminación de los ríos es un aspecto preocupante relacionado con el saneamiento de las ciudades, ya que los ríos urbanos en la GAM tienen concentraciones de contaminantes de varios órdenes de magnitud por encima de los recomendados. Muchos de estos problemas han persistido a través del tiempo, y ha sido difícil hacer mejoras en el sistema debido a falta de financiamiento y lo costoso que resultaría modernizarlo. Es importante, sin embargo, destacar lo que se ha hecho bien como la baja incidencia de enfermedades causadas por agua contaminada y algunos esfuerzos que se están ha-

ciendo, como la construcción de una planta de tratamiento en el GAM.

En este estudio se abordarán algunos de estos temas, así como una evaluación de los posibles efectos de cambio climático en el futuro de las ciudades. Además, se incluye una sección en la cual se indica la necesidad de evaluar integralmente aspectos físicos y sociales para determinar la vulnerabilidad de las poblaciones a la variabilidad y cambio climático.

2. Fuentes de agua en zonas urbanas y sus impactos causados por la urbanización

2.1 Servicio de agua potable en zonas urbanas

El servicio de agua potable prestado por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), órgano gubernamental encargado del suministro y saneamiento de aguas, puede ser considerado, en general, como de buen nivel. Por ejemplo, el caso particular de la cobertura urbana, que alcanza valores cercanos a 99%, es un indicador que verifica esa condición. Parte de los buenos índices de salud, en comparación con otros países de la región, podría atribuirse en parte a la disponibilidad de agua potable. La infraestructura y las tecnologías de los acueductos son buenas en promedio, siendo más destacables en los sistemas de captación y producción.

La calidad del agua para consumo humano es controlada en todo su proceso por el AyA a través del Laboratorio Nacional de Aguas (LNA), alcanzando niveles de potabilización significativos (AyA, 2002). Sin embargo, aunque el porcentaje de cobertura de la red de distribución de agua de agua potable es alto, existe poca confiabilidad en este servicio en algunas zonas (AyA, 2002). Esto es paradójico dado que, en promedio, Costa Rica tiene un bajo estrés hídrico, pero a nivel local existen estos problemas de abastecimiento (Hidalgo, 2012). Por ejemplo, aunque en el Área Metropolitana de San José (la capital) la producción de agua era en 2002 ligeramente menor que la demanda, este déficit ha ido creciendo a través del tiempo y afecta principalmente a las partes altas de la ciudad (AyA, 2002). Estos problemas se acentúan en algunas ciudades donde la capacidad de produc-

ción es muy cercana o es inferior a la demanda, por lo que ya tienen serios problemas en la época seca. Como parte de la solución se han venido cerrando las válvulas de salida de los tanques durante la noche y con racionamientos (AyA, 2002). Esto demuestra que la oferta de agua es insuficiente en algunos sectores, que las fugas son importantes o que los tanques de reserva son insuficientes.

En AyA (2002) se menciona que el lado débil del servicio no es la oferta hídrica, sino que está en el sis-

tema de distribución, comprobado por el alto nivel de agua no contabilizada que se estima alrededor de 59% para el Acueducto Metropolitano de San José (y de 50% para el país). De este 59%, se estima que las pérdidas comerciales son del orden de 29%, divididas en deficiencias del catastro (conexiones no registradas) del orden de 13%, falta de micromedición (conexiones sin medidor) del orden de 7% y deficiencias en la micromedición (consumos no registrados en los medidores) del orden de 7% (AyA, 2002). En resumen,

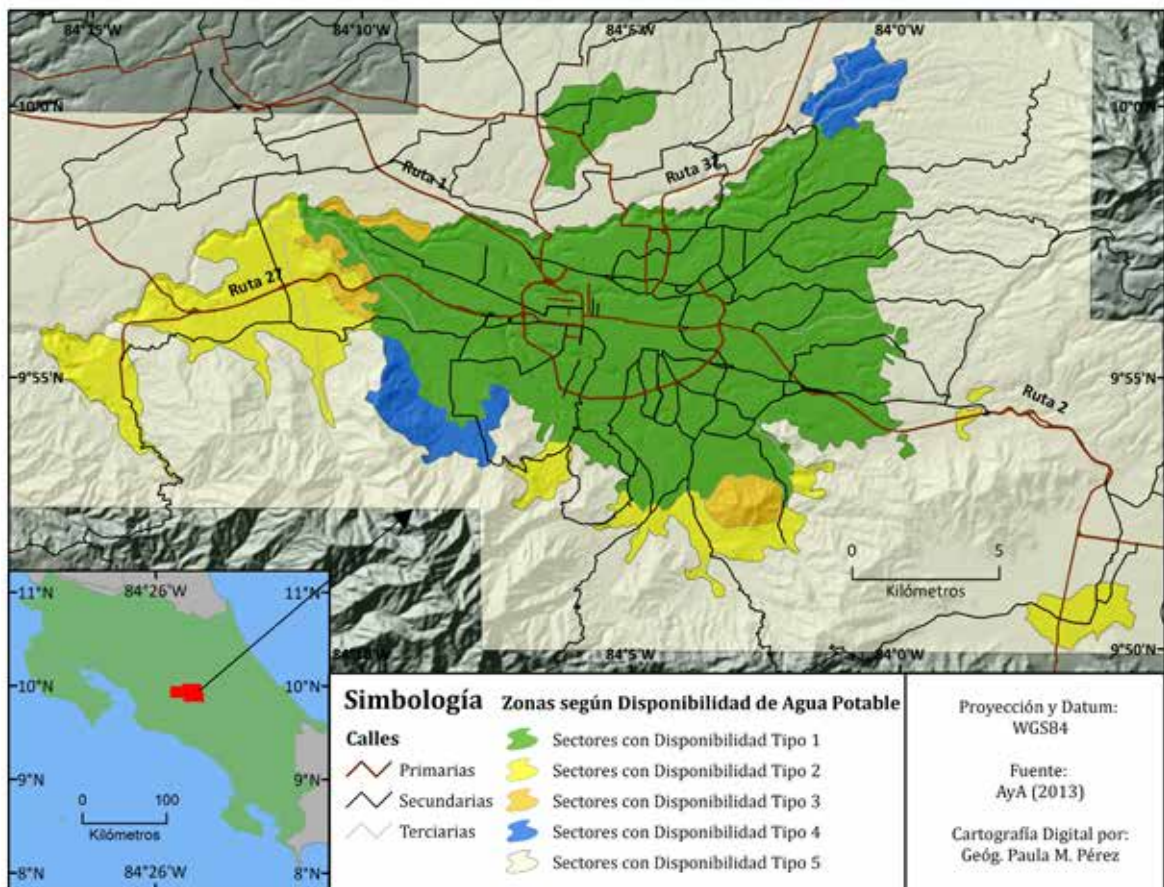
Tabla 1. Coberturas urbanas con servicios de agua y saneamiento, 2013

Area	Servicio	Población Servida (miles de hab.)	Cobertura (%)
Area urbana AyA*	Acueducto	950	99.00%
	Alcantarillado Sanitario	97	6.80%
Agua urbana Municipalidades y ESPH	Acueducto	N.D.	N.D.
	Alcantarillado Sanitario	N.D.	N.D.

*AyA: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Somamente se considera la población que tiene la disponibilidad de servicio de agua mediante conexión a sistemas públicos de abastecimiento o acueductos.

Fuente: Jorge Aguilar Barboza, AyA (comunicación personal, 2014)

Figura 1. Zonificación referente a la disponibilidad de agua potable en diferentes subregiones



las deficiencias en el sistema están motivadas por varios aspectos entre los que se pueden mencionar las deficiencias en la estructura de las redes por el tipo y la edad de las mismas, fugas visibles en las redes y las conexiones, fugas invisibles, gestión de la operación en redes, rebalse de tanques de reserva, catastro de usuarios, catastro de redes, micromedición, macromedición y control de presiones (AyA, 2002). Como se verá luego, la situación de Costa Rica en el campo del saneamiento no es tan buena como la del abastecimiento; la cobertura del alcantarillado público es relativamente baja, se depende mucho de tanques sépticos y el tratamiento de aguas es casi nulo.

En Costa Rica la cobertura de agua para 2000, a nivel urbano (área servida por el AyA y la Empresa de Servicios Públicos de Heredia o ESPH) era del orden de 98,5% (AyA, 2004) y para 2009 alcanzó 99,5% (Arias, 2010). La cobertura sanitaria en las zonas urbanas en 2000 era de 96%, compuesta por 34% con disponibilidad de alcantarillado sanitario y disponibilidad de tanque séptico de 62% (AyA, 2004). En 2009 se mantiene el porcentaje de que únicamente menos de 4% de las aguas recolectadas urbanas tienen tratamiento (Arias, 2010). En términos de la población total (urbana más rural), en Costa Rica solo 25% es servida con alcantarillado sanitario y 80% usa tanque séptico o letrina (Arias, 2010). En la Tabla 1 se muestra la cobertura de acueductos y alcantarillados sanitarios para las regiones urbanas durante 2013. Como se puede ver, en Costa Rica la cobertura en el abastecimiento de agua en las zonas urbanas es alta, mientras que la cobertura de alcantarillado sanitario es baja. Además, el problema del uso del tanque séptico es más grave de lo que se piensa, ya que existen problemas de funcionamiento relacionados con el tipo de suelo (como baja permeabilidad), clima, características del agua a tratar, volumen de agua y otros (Arias, 2010).

El sistema productivo cubre muy ajustadamente la demanda en algunas épocas del año y, en ciertos casos, no la atiende. Sin embargo, inversiones importantes en infraestructura para aumentar la capacidad de producción de los acueductos podrían ser objetadas por parte de los organismos de crédito internacionales, si previamente no se reducen las pérdidas a niveles aceptables (AyA, 2002).

Para poder planificar el desarrollo de nuevas edificaciones, el AyA ha propuesto una zonificación referente a la disponibilidad de agua potable en di-

ferentes subregiones GAM (Figura 1) (AyA, 2013). Las diferentes zonas en la Figura 1 se detallan a continuación (ver también AyA, 2013):

- Disponibilidad Tipo 1: Sectores de abastecimiento del Acueducto Metropolitano sin restricciones para nuevos servicios, urbanizaciones, condominios residenciales, condominios comerciales, edificios de apartamentos, centros comerciales, centros educativos, hoteles y fraccionamientos. Puede ser necesaria la instalación de infraestructura o mejoras adicionales por parte de los desarrolladores o interesados.
- Disponibilidad Tipo 2: Sectores de abastecimiento del Acueducto Metropolitano en los que, por su ubicación y elevación topográfica, y por la falta de suficiente infraestructura de producción, almacenamiento y distribución de agua potable, no se permite el desarrollo de urbanizaciones, condominios residenciales, condominios comerciales, edificios de apartamentos y centros comerciales, centros educativos y hoteles. Solamente se permite el crecimiento vegetativo de nuevos servicios individuales, para vivienda unifamiliar de tipo residencial o fraccionamientos nuevos de seis o menos lotes, con frente a calle pública, y que además tenga tubería de distribución de agua potable del AyA. Para estos casos, puede ser necesaria la instalación de infraestructura o mejoras adicionales por parte de los desarrolladores o interesados.
- Disponibilidad Tipo 3: Sectores actualmente abastecidos de agua potable por el Acueducto Metropolitano, los que por la falta de suficiente infraestructura de producción, almacenamiento y distribución de agua potable, no permiten solicitudes de nuevos servicios individuales ni nuevos desarrollos de urbanizaciones, condominios residenciales, condominios comerciales, edificios de apartamentos ni centros comerciales, centros educativos ni hoteles.
- Disponibilidad Tipo 4: Sectores con restricciones para el abastecimiento de agua según lo establecido en el Acuerdo de Junta Directiva del AyA 2005-1012, y posteriores modificaciones: Se otorga disponibilidad de agua potable, únicamente para vivienda unifamiliar de tipo residencial, en lotes o parcelas existentes y en fraccionamientos nuevos con frente a calle pública actual, y que además tenga tubería de abastecimiento de

Tabla 2. Producción total anual para el año 2013 para diferentes fuentes de agua en la Gran Área Metropolitana

Sistema de Producción	Fuente de Producción	Tipo Fuente	Clasificación AyA	Producción total (m³)
Planta Potabilizadora Tres Ríos	Tres Ríos	Superficial	Planta	61,660,874
Planta Potabilizadora Tres Ríos	Pozo Mc. Gregor 2 (Registro)	Pozo	Pozo	642,159
Planta Potabilizadora Tres Ríos	Pozo Mc. Gregor 1 (Periféricos)	Pozo	Pozo	944,269
Planta Potabilizadora Tres Ríos	Pozo Vesco	Pozo	Pozo	246,154
Planta Potabilizadora Tres Ríos	Pozo Las Monjas	Pozo	Pozo	58,450
Planta Potabilizadora Guadalupe	Guadalupe	Superficial	Planta	9,087,921
Planta Potabilizadora Los Sitios	Los Sitios	Superficial	Planta	6,809,485
Planta Potabilizadora Los Sitios	Pozo La Florida	Pozo	Pozo	1,330,768
Planta Potabilizadora San Juan de Dios	San Juan de Dios Desamparados	Superficial	Planta	1,936,634
Planta Potabilizadora San Juan de Dios	Pozo Veracruz	Pozo	Pozo	60,267
Planta Potabilizadora San Antonio de Escazú	San Antonio Escazú	Superficial	Planta	2,551,857
Planta Potabilizadora Los Cuadros	Los Cuadros	Superficial	Planta	2,229,067
Planta Potabilizadora Salitral	Salitral	Superficial	Planta	1,829,319
Planta Potabilizadora San Rafael de Coronado	San Rafael Coronado	Superficial	Planta	843,644
Planta Potabilizadora San Jerónimo de Moravia	San Jerónimo Moravia	Superficial	Planta	652,653
Planta Potabilizadora Quitirrisí	Quitirrisí (1)	Superficial	Planta	516,447
Planta Potabilizadora Alajuelita	Alajuelita	Superficial	Planta	343,047
Planta Potabilizadora Mata de Plátano	Mata de Plátano	Superficial	Planta	313,285
Planta Potabilizadora Guatuso Patarrá	Guatuso Patarrá	Superficial	Planta	373,399
Planta Potabilizadora El Llano de Alajuelita	El Llano de Alajuelita	Superficial	Planta	180,328
Planta El Tejar del Guarco	Acueducto El Tejar del Guarco			1,342,196
Bombeo Tejar del Guarco	Acueducto El Tejar del Guarco			1,025,620
Sistema de Puente Mulas	Puente Mulas	Pozo	Pozo	28,750,137
Sistema de Puente Mulas	Bombeo Intel	Pozo	Pozo	518,058
Sistema de Puente Mulas	Pozo La Rivera (Intel)	Pozo	Pozo	661,671
Sistema de Pozos La Valencia	La Valencia	Pozo	Pozo	27,868,898
Sistema de Pozos San Pablo	Pozo Rincón de Ricardo #1 (Pequeño)	Pozo	Pozo	N.D.
Sistema de Pozos San Pablo	Pozo Rincón de Ricardo #2 (Grande)	Pozo	Pozo	1,749,699
Sistema de Pozos San Pablo	Pozo San Pablo # 1	Pozo	Pozo	785,482
Sistema de Pozos San Pablo	Pozo La Meseta	Pozo	Pozo	1,627,461
Sistema Potrerillos San Antonio	Booster Matra	Pozo	Pozo	5,219,019
Sistema Potrerillos San Antonio	Pozo Zoológico	Pozo	Pozo	178,558
Sistema Potrerillos San Antonio	Pozo Brasil de Mora	Pozo	Pozo	102,259
Sistema Potrerillos San Antonio	Potrerillos-Lindora	Pozo	Pozo	1,050,565
Manantiales la Libertad	Bombeo La Libertad	Pozo	Pozo	2,754,916
Manantiales de Padre Carazo	Manantiales Padre Carazo	Manantial	Manantial	2,009,196
Manantiales de Pizote	Manantiales Pizote	Manantial	Manantial	766,836
Manantiales de Vista de Mar	Manantiales Vista de Mar	Manantial	Manantial	211,446
Manantiales de Chiverrales	Chiverrales	Manantial	Manantial	1,321,920
Manantiales de Lajas	Lajas (Fuentes no medidas)	Manantial	Manantial	N.D.
Planta Barrio España	PP Barrio España	Superficial	Superficial	183,086
Captaciones Matinilla	Matinilla (Fuentes no medidas)	Superficial	Superficial	N.D.
Captaciones al Sur de Alajuelita	Sur Alajuelita (Fuentes no medidas)	Naciente	Naciente	N.D.
Captaciones Sur de Escazú	Pozo Bebedero	Pozo	Pozo	34,388
Captaciones Sur de Escazú	Sur de Escazú (Fuentes no medidas)	Varios	Superficial	o
Captaciones Ticufres	Fuentes Ticufres	Manantial	Manantial	31,476
Total				170,802,915
Sistemas cuya producción no se inyecta al Acueducto Metropolitano:				
Cartago (3)		Planta		10,074,490
Quitirrisí (2)		Planta		1,815,546

PT = Planta de tratamiento, MA = Manantial, PZ = Pozo, G = Gravedad, B = Bombeo. N.D. = No disponible. (1) Ciudad Colón; (2) Puriscal-Región Central Oeste; (3) Planta operada por la Región Metropolitana para el abastecimiento de Cartago y Paraíso. Fuente: Jorge Aguilar Barboza, AyA (comunicación personal, 2014)

agua. No se dará disponibilidad de agua potable para fraccionamientos sin frente a calle pública, ni a condominios, urbanizaciones ni a edificios de apartamentos.

- Disponibilidad Tipo 5: Sectores fuera de los límites de abastecimiento del Acueducto Metropolitano, en donde existen sistemas de suministro de agua administrados por las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados (ASADAS), acueductos municipales, otras asociaciones o la EPSH. Según el último dato de 2013, la cantidad de ASADAS era de 163 con un promedio de caudal de 769.6 litros por segundo

En cuanto a la distribución del servicio en el GAM, ésta se puede dividir en dos tipos de fuentes: manantiales o nacientes y pozos (Tabla 2). Existen además 19 plantas de potabilización. Además, en la zona urbana se encuentran tres plantas de potabilización de aguas en Tarbaca, San Gabriel de Aserri e Higuito de San Miguel de Desamparados, en donde se han establecido reglamentos de operación de aguas residuales particulares.

Como se puede ver en la Tabla 2, la capacidad instalada en nacientes o manantiales es de alrededor de 4.3 millones de m³ anuales, mientras que en pozos es del orden de 74.5 millones de m³ anuales, siendo Heredia una de las provincias con más aportes de aguas subterráneas (AyA, 2013). En el GAM, el agua subterránea constituye entonces 68% de las fuentes de agua potable, mientras que el agua superficial aporta 32% (AyA, 2002). Los acuíferos más importantes del país son: Colima Superior, Colima Inferior, Barba, Liberia, Bagaces, Barranca, La Bomba (Limón), Zapandí y los acuíferos costeros: Jacó, Playas del Coco, Brasilito y Flamingo. Por otra parte, en términos de aguas superficiales, en Hidalgo (2012) se encuentra una tabla con las características de los principales ríos del país.

2.2 Tratamiento de agua en las ciudades

Las ciudades que cuentan con redes de alcantarillado sanitario son San José, Liberia, Nicoya, Santa Cruz, Cañas, San Isidro de El General, Puntarenas, Limón, Heredia, Cartago y Alajuela, que conjuntamente representan una cobertura de 33,8% en el área urbana. De éstas, solamente cuentan con tratamiento mediante lagunas de estabilización las ciudades de

Liberia, Nicoya, Santa Cruz, Cañas y San Isidro de El General, y una parte de las aguas recolectadas en Puntarenas reciben tratamiento en una planta de lodos activados. Se estima que solo se trata 4% de las aguas residuales generadas por la población urbana con alcantarillado sanitario (AyA, 2002; Arias, 2010).

Si el país pretende nivelar las coberturas de agua y alcantarillado sanitario, deberá prepararse para importantes inversiones en el área urbana (AyA, 2002). Se estimó que el monto de la inversión necesaria en 2002 para construir una planta de tratamiento para el GAM era del orden de 289 millones de dólares y en algún momento se pensó que el proyecto podría ser ejecutado por medio del método de concesión (AyA, 2002). En 2014 se revisaron los costos y ahora se estima que el final es de 344 millones (La Nación, 2014). El 12 de septiembre de 2012 se firmó el contrato con la empresa española Acciona Agua, quien es la encargada del desarrollo de la planta de tratamiento Los Tajos, en La Uruca, la cual recibirá las aguas residuales de 11 cantones de la GAM, atendiendo a 1 millón 70 mil habitantes. El contrato con la empresa española indica que se realizará el plan maestro para la primera etapa, etapa intermedia y segunda etapa de la planta, pero solo se construirá la primera. Para el tratamiento secundario AyA está en búsqueda de fuentes de financiamiento. La planta está actualmente en proceso de construcción (en febrero de 2014 la planta estaba en 10.65% de avance) y se espera que empiece a funcionar en mayo de 2015 (La Nación, 2014). La mitad del costo de la obra será asumida por la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA). La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Los Tajos es un componente del Proyecto de Mejoramiento Ambiental del Área Metropolitana de San José, que integró la construcción de un alcantarillado que colectará las aguas que serán tratadas (EF, 2012). Se planea que en los próximos 14 años se construyan otras plantas en las provincias de Heredia y Cartago (La Nación, 2014).

Por el momento, 96% de las aguas residuales urbanas recolectadas por los alcantarillados sanitarios se está disponiendo en los ríos sin ningún tratamiento. Dos de las principales cuencas del país, las de los ríos Grande de Tárcoles y Reventazón, donde se asienta alrededor de 70% de la población del país, reciben las aguas residuales sin tratar de las ciudades de San José, Heredia, Alajuela y Cartago (AyA, 2002). En Hidalgo (2012) se muestran las concentra-

ciones promedio de algunos indicadores de calidad del agua en dos de los ríos más contaminados de la Gran Área Metropolitana o GAM (San José y ciudades circundantes) como lo son el Río Tárcoles y el Río Virilla (tributario del Río Grande de Tárcoles). En esta tabla se puede ver cómo las concentraciones de contaminantes exceden por mucho las concentraciones recomendadas.

La degradación del ambiente y de los cuerpos de agua en el país, pero en particular en la GAM, durante las últimas tres décadas están empezando a ser cada vez más costosas en términos humanos y económicos. De hecho, se ha estimado que los costos anuales de la contaminación en términos de pérdida de productividad y el tratamiento de enfermedades asociadas suman alrededor de 325 millones, divididos en los 122 millones de las áreas de las ciudades conectadas al sistema de alcantarillado sanitario y los 203 millones de las áreas con tanques sépticos

(Moreno Díaz, 2009). En la Tabla 3 se muestran las características de la infraestructura de los alcantarillados sanitarios de AyA y de la ESPH (empresa encargada de suministro y saneamiento de agua a la provincia heredia).

3. Agua y salud en las ciudades

Los índices de salud en general para el país señalan un avance positivo en el contexto mundial. La esperanza de vida al nacer pasó de 1990 al año 2012, de 76.7 a 80.0 (Banco Mundial, 2014). En el mismo período la tasa de mortalidad infantil (mortalidad en el primer año de vida) pasó de 15.3 a 8.5 (INEC, 2013). Estos índices se han logrado gracias a las políticas efectivas de salud del país, en donde el sistema solidario de seguridad social de salud ha jugado un papel preponderante, pero tampoco se puede negar

Tabla 3. Características de la infraestructura de los alcantarillados sanitarios de AyA y de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia

Región / Sistema	Tarifa	No de servicios	Tipo de tratamiento	Disposición final
Región Metropolitana AyA				
San José	U	0	N	R
Región Huetar Atlántica AyA				
Limón	U	7811	EPA+Em	M
Región Brunca				
San Isidro de Pérez Zeledón	U	3153	LE	R
Boruca, Buenos Aires	U	112	PT	Q
Lomas, Buenos Aires	U	86	LE	Q
Región Chorotega AyA				
Liberia	U	3435	LE	R
Cañas	U	1691	LE	R
Santa Cruz	U	1367	LE	R
Nicoya	U	1461	LE	R
Región Pacífico Central AyA				
Puntarenas	U	8127	PT	M
Región Central Oeste				
Ciudad Hacienda los Reyes	U	184	PT	Q
Villa Verano	U	125	PT	R
Santa Cecilia de Puriscal	U	40	PT	Q
ESPH				
Heredia	U	0	N	R

Notas: Tipo de tratamiento: PT-Planta de Tratamiento, LE-Laguna de estabilización, N-Ninguno, Punto de disposición: Q-Quebrada, R-Río, M-Mar. El número de servicios es al 30/6/2001 excepto Puntarenas que es al 31/8/2001; La ESPH en Heredia tiene en operación dos pequeñas plantas de aireación extendida y barros activados, que tratan una porción pequeña de los efluentes de alcantarillado sanitario con un regular rendimiento.

Fuente: Sistema Comercial Interno, Datmart Comercial, 2014.

Tabla 4. Casos y tasas de incidencia (en paréntesis), enfermedades relacionadas con agua y saneamiento

Enfermedad	1996	1997	1998	1999	2000
Cólera	36 (1.05)	1 (0.003)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
Dengue	2294 (66.62)	14279 (406.74)	2628 (69.73)	2628 (68.15)	4908 (124.47)
Diarrea	99967 (2903.22)	113772 (3240.78)	132995 (3528.75)	140092 (3632.91)	164629 (4175.01)
Enfermedad Estreptocócica	62463 (1814.03)	58292 (1660.44)	75124 (1993.26)	91099 (2362.91)	No hay dato
Encefalitis Vírica	14 (0.41)	22 (0.63)	37 (0.98)	28 (0.73)	17 (0.43)
Fiebre Tifoidea	19 (0.55)	16 (0.46)	10 (0.27)	8 (0.21)	8 (0.20)
Hepatitis todas las formas	868 (25.21)	1191 (33.93)	1483 (39.35)	2132 (55.29)	1739 (44.10)
Infección Meningocócica	34 (0.99)	23 (0.66)	24 (0.64)	16 (0.41)	19 (0.48)
Leptospirosis	29 (0.84)	27 (0.77)	26 (0.69)	312 (8.10)	156 (3.96)
Meningitis todas las formas	470 (13.65)	446 (12.70)	458 (12.15)	615 (15.95)	514 (13.04)
Salmonelosis	28 (0.81)	37 (1.05)	15 (0.40)	34 (0.88)	89 (2.26)
Shigelosis	73 (2.12)	40 (1.14)	45 (1.19)	38 (0.99)	89 (2.26)

Fuente: AyA (2002) usando datos de la Unidad Estadística del Ministerio de Salud. Tasas por cada 100000 habitantes.

que la cobertura con agua potable (o con agua limpia en muchos casos) ha tenido un impacto importante. La tasa en 2012 de mortalidad infantil de 8,5 por mil nacidos vivos, representa un porcentaje relativamente bajo en relación con otros países del área, ya que el porcentaje de muertes infantiles por enfermedades infecciosas, particularmente las intestinales y respiratorias agudas es relativamente bajo (INEC, 2013). Por ejemplo, el porcentaje de causas de muerte en infantes debido a enfermedades infecciosas y parasitarias es de 1.6% y, por causas respiratorias, de 4.3% (INEC, 2013). En contraste, la mayoría de las muertes en niños se da por afecciones causadas en el período perinatal (48.4%) y a malformaciones congénitas (37.2%) (INEC, 2013). A nivel de diarreas la situación es diferente, ya que la tasa tiene una conducta creciente desde 1996 a 2000, donde muy posiblemente hay una vinculación directa con los problemas de ausencia de sistemas de recolección de aguas residuales en las áreas urbanas y de saneamiento ambiental en general, lo que coloca en riesgo la calidad del agua para consumo humano (AyA, 2002). En los indicadores de salud debe estar pesando la baja atención a la problemática de las aguas residuales en el medio urbano, donde las acequias, quebradas y ríos son utilizados como desagüeros de contaminantes (AyA, 2002). Sin embargo, cabe destacar que las enfermedades del sistema digestivo son raramente mortales en la niñez; por ejemplo a 2011, el porcentaje de muertes de niños menores de 5 años por estas causas fue de 0.01 por mil, comparado con la tasa de mortalidad de 2.21 por mil obtenida

sumando las causas de muerte de todo tipo para ese rango de edades (Ministerio de Salud, 2011).

El agua potable es el servicio público por excelencia en el cual se fundamenta la preservación de la salud de la población al proveer higiene y un medio adecuado para conducir y disponer excretas y otros desechos sólidos (AyA, 2002). Muy probada está la relación agua potable-salud; sin este servicio, la sociedad no puede desarrollarse saludablemente. Costa Rica, desde los tiempos de la Colonia, se ha preocupado por proveer este servicio a todas las áreas. Además, es el elemento vital para el desarrollo; no puede haber desarrollo sin agua potable (AyA, 2002).

Sin lugar a dudas, la falta de infraestructura de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento o el deterioro de los mismos, ha propiciado en ciertos sectores del país la presencia de enfermedades transmisibles tales como el cólera, fiebre tifoidea, salmonelosis, shigelosis, amebiasis, giardiasis, otras infecciones intestinales, hepatitis viral, etcétera (AyA, 2002). Las enfermedades que han sido relacionadas con el agua y detectadas en el país son, entre otras, las siguientes: disentería amebiana, disentería bacilar, enfermedades diarreicas (incluyendo las dos anteriores), cólera, hepatitis A, fiebre paratifoidea y tifoidea, poliomiéltis, esquistosomiasis, dengue y paludismo. En la Tabla 4 se presentan las tasas de incidencia de las enfermedades relacionadas con el agua y el saneamiento (AyA, 2002).

En la práctica, las acciones de control en los sistemas de abastecimiento son de monitoreo, ya que no se ejecutan programas intensivos de vigilancia

sanitaria, aun cuando se tiene conocimiento de la alta vulnerabilidad de las fuentes, especialmente de las superficiales. Tampoco existen programas de sostenibilidad de la calidad del recurso hídrico utilizado para consumo humano, que incorpore planes de reforestación, uso del suelo, etcétera (AyA, 2002). De hecho, la falta de un plan de ordenamiento territorial ha sido mencionado como una de las necesidades más apremiantes en Costa Rica, especialmente en áreas urbanas (Hidalgo, 2012).

El reciente “Informe 2014 OMS/UNICEF: progresos sobre el agua potable y saneamiento” aporta datos y conclusiones sobre los avances en la Meta 10 del “Objetivo de Desarrollo del Milenio”, la cual consiste en reducir a la mitad la proporción de personas sin acceso sostenible al agua potable y a servicios básicos de saneamiento para 2015 con respecto a 1990.

El Programa Conjunto de Monitoreo (PCM) estableció el nuevo concepto de “Fuentes de Agua Potable Mejoradas” (FAPM), con el propósito de medir los avances en agua potable mediante la aplicación de esta iniciativa. Una fuente de agua potable mejorada es aquella que, por el tipo de construcción, protege apropiadamente el agua de la contaminación exterior, en particular de la materia fecal; comprende el acceso a agua por cañería intradomiciliar o en el patio, pileta pública, pozo o nacimiento a 1 Km de la vivienda, e incluso la recolección de agua de lluvia. Este concepto no toma en cuenta la calidad del agua ni la calidad del servicio (cantidad, continuidad, calidad, cobertura y costos).

En el marco de este débil concepto, a nivel mundial se han observado “grandes avances” como que la cobertura con FAPM pasó de 76% en 1990 a 89% en 2012. En este contexto es importante resaltar que dicho avance se ha concentrado en las comunidades rurales, con un incremento de prácticamente 20% entre esos mismos años, ya que pasó de 62 a 82%; no obstante, en las zonas urbanas el acceso a FAPM disminuyó, porque el abastecimiento con agua por cañería bajó 1% con respecto al 81% reportado en 1990, ubicándose en 80%.

En forma general, en 23 de los 222 países evaluados ha disminuido el acceso a agua por cañería, entre los que sobresalen algunos países africanos y asiáticos; en el continente americano, la cobertura en los Estados Unidos bajó de 100 a 99%, y en República Dominicana de 95 a 74%. En los 22 años del estudio, la disminución en el acceso a fuentes de agua

potable mejoradas, en la mayoría de estas naciones, se debe al deterioro económico y la pobreza, la migración de la población rural a las ciudades urbanas y al consumo de aguas envasadas, en detrimento de los sistemas de abastecimiento. Esto genera que muchos países hayan alcanzado el ODM7 en el marco del concepto de FAPM, estableciendo piletas públicas o usando agua de pozos y nacientes, en vez de construir acueductos como ha sucedido en la mayoría de los países centroamericanos.

En Costa Rica los avances han sido muy satisfactorios, alcanzando en 2012 un 98% de cobertura con agua por cañería intradomiciliar y 99% con FAPM; sin embargo, es necesario ocuparnos de la calidad de los servicios de agua y la universalización del agua potable, para que llegue el servicio hasta los pueblos más marginados del país.

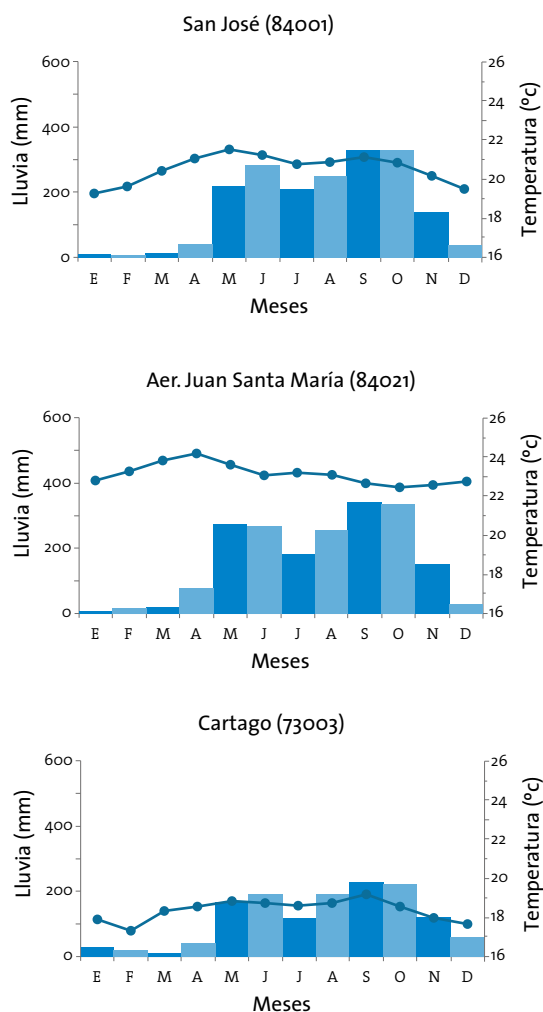
4. Variabilidad climática

El clima de Costa Rica está influenciado por factores naturales, entre los cuales podemos mencionar: El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), movimientos latitudinales del Centro de Convergencia Intertropical, el Jet de Bajo Nivel del Caribe, el Veranillo, tormentas tropicales y huracanes, la influencia del Atlántico y los frentes fríos. En Valle Central de San José, donde se ubican los grandes centros urbanos, posee una climatología de precipitación típica del régimen Pacífico, con una estación seca durante diciembre a abril y una lluviosa de mayo a noviembre con un mínimo secundario durante julio denominado Veranillo (Figura 2). La temperatura promedio mensual varía poco durante el año.

Los extremos altos de precipitación causan graves problemas de inundaciones y daños en la infraestructura de las zonas urbanas. El problema no es solamente causado por posibles tendencias positivas en la intensidad de las tormentas (ver sección de cambio climático en una sección posterior), sino también el problema es agravado por construcciones cerca de laderas inestables o de cauces de ríos, falta de mantenimiento de las alcantarillas pluviales y en los cauces, y una rápida y creciente urbanización en algunas zonas. Las frecuentes inundaciones en gran parte del país, como por ejemplo durante 2010 (año clasificado como La Niña), nos han recordado que es indispensable hacer esfuerzos en otros

campos como el mantenimiento de la red vial y de alcantarillado, el cuidado y la limpieza de los ríos, la conservación y reforzamiento de la red de observaciones hidrometeorológicas, el establecimiento de normas de diseño de taludes considerando criterios hidrometeorológicos, la necesidad de actualizar y respetar el ordenamiento territorial y la inversión en educación y formación a todos los niveles. Estas acciones de mantenimiento, planeamiento y desarrollo de sistemas de protección civil resultan menos onerosas a largo plazo que el costo en pérdida de infraestructura y vidas humanas tras un desastre (Hidalgo, 2010).

Figura 2. Climatología de tres estaciones localizadas en tres ciudades principales del Valle Central de Costa Rica



Fuente: Atlas en línea del Instituto Meteorológico Nacional (<http://www.inm.ac.cr/>)

4.1 Inundaciones urbanas, algunos casos de estudio

El proceso de urbanización generado por el crecimiento de la población repercute en las cuencas hidrográficas, causando: aumento en picos de descarga de agua, así como el incremento de la escorrentía y sus frecuencias; aumento en la verticalidad de las paredes de los cauces; incremento en los sedimentos de la cuenca, así como erosión y degradación en los ríos cuando una cuenca ya se encuentra muy impermeabilizada.

Este fenómeno se ha presentado en las cuencas de los cantones al sur de Heredia, que han sufrido una afectación muy severa en los últimos 30 años. El 15 de abril de 2005 la Sala Constitucional (órgano jurídico responsable de emitir fallos relacionados con la interpretación de la Constitución Política) emitió la resolución 2005-04050 en la cual se condena a las siguientes instituciones públicas por otorgar permisos de construcción y por el mal manejo de los acueductos municipales y alcantarillado pluvial, dentro de las cuencas de la Quebrada Seca y el Río Burío: Ministerio de Ambiente y Energía, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Región Central del Ministerio de Salud, Empresa de Servicios Públicos de Heredia, Municipalidad de San Rafael de Heredia, Municipalidad de San Antonio de Belén, Municipalidad de Heredia, Municipalidad de Barva, y Municipalidad de Flores.

La conclusión del dictamen indica que se ha generado un daño ambiental y se obliga a estas instituciones a preparar en conjunto un informe semestral con las acciones tomadas para solventar los problemas mencionados. Las situaciones que se presentan en estas quebradas consisten en desbordamientos durante los periodos intensos de lluvia, descarga directa de aguas servidas a estos ríos y desecho de basura en sus aguas, con los consecuentes malos olores, disminución de fauna y flora, daños a viviendas e industrias, evacuaciones de centros de poblaciones regulares, entre otros. La Quebrada Seca y el Río Bermúdez conforman una red hidrológica importante en los cantones mencionados. Son cuencas que históricamente han brindado uno de los mayores potenciales hidrogeológicos del GAM y han sido altamente explotadas para el suministro de agua potable, no sólo para la zona, sino también para otras provincias del país.

Los problemas detectados se han generado en su gran mayoría por el crecimiento exponencial y des-

ordenado de los municipios en mención, sin haber tomado en consideración, en ese momento, ningún tipo de medida de mitigación que evitara el aumento de escorrentía y su contaminación. El intensivo crecimiento urbano también ha presionado la explotación de los acuíferos en la parte alta de estas cuencas, con una consecuente disminución en el caudal base de los cauces. Esto ha repercutido a nivel ambiental, ya que durante la estación seca el flujo se disminuye de forma importante y evita que las aguas servidas (en muchos casos sin ningún tipo de tratamiento) que se descargan directamente en los ríos, se diluyan con el caudal de éstos. La situación no es exclusiva de los cantones mencionados, sino que es una situación que se está presentado cada vez más frecuentemente a nivel nacional y que a la fecha no se ha propuesto un plan o proyecto que proponga una solución efectiva para esta condición.

La mayoría de las municipalidades con fuerte desarrollo urbano del país se han enfocado en solicitar a los desarrolladores lagunas de compensación pluvial para los diferentes residenciales u obras con áreas techadas significativas, sin que exista ninguna metodología estandarizada para el diseño y/o supervisión de la construcción de dichas lagunas. La gran mayoría de éstas es diseñada sin considerar un hidrograma completo de la cuenca, con diferentes periodos de retorno y parámetros sin ningún tipo de calibración.

En las investigaciones preliminares efectuadas sobre este tema se pudo determinar que la Municipalidad de San Antonio de Belén y la Universidad Nacional son prácticamente las únicas dos entidades que se encuentran trabajando en una solución a este problema. Aun así, la Municipalidad de San Antonio de Belén busca una solución para su problema particular, pero no una solución integral.

Las áreas urbanas demandan a los sistemas de drenaje múltiples objetivos, entre los que se encuentran: la mejora de la calidad del agua, recarga de mantos acuíferos, instalaciones recreativas, generar hábitat para la flora y fauna, creación de lagunas o pantanos, protección del paisaje, control de erosión y disposición de sedimentos, creación de espacios abiertos. Por lo tanto, dentro de lo posible, siempre se recomienda aprovechar las condiciones de los sistemas existentes. El desarrollo urbano en áreas sin la previsión adecuada de drenajes multiplica el gasto público, ya que posteriormente los problemas generados se deben corregir a costa de los impuestos

generales. El sureste de San José también presenta problemas de inundaciones urbanas, en particular los cantones de Desamparados, Aserrí y Curridabat.

5. Cambio climático

5.1 Observaciones de cambio climático en registros observados en las últimas décadas

En Centroamérica el promedio de temperatura anual ha aumentado aproximadamente 1°C en el período 1900-2010 y el aumento de días y noches cálidas creció 2.5 y 1.7% por década, mientras que las noches y días fríos han disminuido -2.2 y -2.4% respectivamente (Corrales, 2010). Los extremos de temperatura muestran un aumento de entre 0.2 y 0.3°C por década (Corrales, 2010). Tales tendencias son consistentes con los resultados de los extremos en temperatura y precipitación encontrados por Alexander *et al.* (2006) en un set de aproximadamente 600 estaciones a través del mundo. Según los mapas de este último estudio para la región centroamericana, las reducciones de 1951 a 2003 en el número de noches frías (menor al percentil 10, TN10) son de aproximadamente 3 a 6 días por década; las noches cálidas (mayor al percentil 90, TN90) han aumentado de 4 a 8 días por década; los días fríos (TX10) han disminuido de 0 a 3 días por década, y los días cálidos (TX90) han aumentado de 4 a 8 días por década. Las tendencias en los eventos extremos de temperatura (TN10, TN90, TX10 y TX90) son consistentes con el estudio de Aguilar *et al.* (2005) usando estaciones en Centroamérica y con el reporte Alianza Clima y Desarrollo (2012). Sin embargo, en este mismo reporte se indica que las tendencias observadas en olas de calor muestran gran variabilidad espacial (incrementos en algunas áreas y reducciones en otras).

El análisis de temperatura y precipitación revela una variedad de cambios durante los últimos 40 años en Centroamérica y el norte de Sudamérica. Aunque esto es cierto para ambas variables, los cambios en temperatura tienen un mayor grado de coherencia. Esto no es sorprendente, ya que la precipitación en la región tiene más variabilidad que la temperatura (Aguilar *et al.*, 2005). En la región centroamericana, en general la precipitación total anual no tiene tendencias significativas (ver Figura 9 de Aguilar *et al.*, 2005). En general, las tendencias de índices de

precipitación promedio y de extremos no muestran una coherencia de signo en Centroamérica, esto es, unas de las estaciones de precipitación muestran tendencias positivas y, otras, negativas, pero mayormente no significativas (Aguilar *et al.*, 2005; Alianza Clima y Desarrollo, 2012). Sin embargo, al menos un estudio (Neelin *et al.*, 2006) encontró tendencias negativas en la parte norte de Centroamérica usando datos de estaciones (1950-2002) y de satélite (1979-2003). Corrales (2010) y Aguilar *et al.* (2005) mencionan que aunque existe gran variabilidad espacial, los índices de precipitación indican que aunque no ha habido aumentos importantes en la cantidad de la precipitación, sí se ha observado una intensificación de las mismas; esto quiere decir que los patrones de precipitación han cambiado de forma que ahora llueve más intensamente en un período de tiempo más corto. Se ha observado en algunas regiones un aumento en la proporción de las tormentas muy intensas desde 1970, que es mucho mayor que el simulado en los modelos actuales para este período, por lo que es probable que aumente en el futuro la frecuencia de aparición de fenómenos meteorológicos y climáticos extremos, así como la frecuencia e intensidad de los huracanes en la Cuenca del Caribe (Corrales, 2010). Esta última aseveración debe tomarse con un poco de escepticismo ya que, aunque algunos estudios de modelaje han mostrado que es probable un aumento en el número de huracanes intensos en el futuro (Kerr, 2010), existe evidencia de que históricamente no ha habido aumentos significativos en el número de ciclones tropicales y huracanes (Alfaro, 2007; Alfaro *et al.*, 2010; Alfaro y Quesada, 2010).

Hidalgo *et al.* (2013) cambiaron de escala los datos de precipitación y temperatura del NCEP-NCAR Reanálisis (Kalnay *et al.*, 1996) y los usaron como entrada en un modelo hidrológico para dos sitios en Centroamérica: Tegucigalpa (Honduras) y San José (Costa Rica), y así obtener estimaciones de escorrentía anual. Los resultados muestran tendencias en la escorrentía anual negativas y significativas desde 1980-2012. Estas tendencias "observadas" son relativamente más fuertes para el caso de San José (parte sur del istmo) que para Tegucigalpa (parte norte del istmo). Estas tendencias son consistentes con estudios en otras áreas del mundo, en donde se ha encontrado que en la década de 1980 ocurrieron cambios climáticos particularmente significativos en variables hidrometeorológicas (Barnett *et al.*, 2008 y

Meehl *et al.*, 2007). Sin embargo, se ha de mencionar que en otros reportes las tendencias en la sequedad observadas son variadas e inconsistentes (Alianza Clima y Desarrollo, 2012).

En el caso particular de Costa Rica, las diferencias entre el clima de 1961-1990 comparado con el clima de 1991-2005 de datos de estaciones meteorológicas muestran algunos cambios en el Pacífico Norte (tendencias hacia clima más seco), el Pacífico Central (tendencias hacia climas más húmedos) y el Caribe Sur (tendencias hacia climas más húmedos) (MINAET, 2009). En particular, la zona Pacífico Norte ha experimentado una disminución significativa en la precipitación de mayo a septiembre. Hay que mencionar que algunos de estos cambios pueden ser (parcialmente) producto de cambios naturales en el clima, ya que por ejemplo fenómenos como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) han cambiado en los últimos años hacia más altas frecuencias de eventos cálidos y menos eventos fríos. Es difícil saber si estos cambios son una respuesta del cambio climático antropogénico, pero existen fenómenos naturales de gran escala y baja frecuencia como la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP; Mantua *et al.*, 1997) que pueden modular la frecuencia de ENOS.

5.2 Proyecciones hidroclimáticas para Centroamérica y Costa Rica

Las proyecciones del clima en general se basan en Modelos de Circulación General (MCG) o Modelos Globales del Clima. Estos modelos son representaciones matemáticas de los factores y procesos que gobiernan el clima en la Tierra, considerando diversos forzamientos tales como la influencia solar, volcánica y gases de efecto invernadero. Existen varias series de corridas de estos modelos; la más reciente es la correspondiente al Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados 5 (CMIP5 en inglés). Sin embargo, debido a que son relativamente nuevas, las corridas de los modelos CMIP5 todavía no se han evaluado con gran detalle con respecto a su capacidad de modelar los factores climáticos de gran escala que afectan el clima en Centroamérica. Además, hay pocos estudios publicados con proyecciones de estos modelos. Por esa razón, los resultados más recientes mencionados aquí se basan en corridas del CMIP3. Existen limitaciones en los modelos del CMIP3, pero en general reproducen aproximadamente algunos

patrones climáticos relacionados con el clima centroamericano (Pierce *et al.*, 2008 y 2009; Delworth *et al.*, 2012; Hirota *et al.*, 2011; Liu *et al.*, 2012; Rauscher *et al.*, 2008; Martin y Schumacher, 2011; Jiang *et al.*, 2012; Hidalgo y Alfaro, 2012).

Para temperatura anual, el calentamiento promedio en la región centroamericana proyectado al final del siglo XXI es de aproximadamente 2,5 a 3,5°C dependiendo de la localización (Hidalgo y Alfaro, 2012), aunque las proyecciones en el sur de Centroamérica pueden ser tan altas como 4,5°C en algunos meses. El consenso de MCG del CMIP3 es que la región centroamericana experimentará reducciones en la precipitación del orden de 10 a 20% y la escorrentía del orden de 20 a 40% a final de siglo (ver figuras 3.3 y 3.5 respectivamente del reporte de IPCC, 2007). Las proyecciones a final de siglo de los modelos, usando escenarios de emisiones A2/A1B, indican que los días cálidos probablemente aumentarán, mientras que los días fríos probablemente se reducirán; es probable que aumentarán las noches cálidas y que se reduzcan las noches frías; es probable que haya olas de calor y períodos cálidos más frecuentes y más largos y/o más intensos en la mayor parte de la región; las tendencias de precipitación fuerte son inconsistentes, y habrá un incremento en la sequedad con menos confianza en la tendencia en el extremo sur de la región (Alianza Clima y Desarrollo, 2012). Usando un modelo regional, Karmalkar *et al.* (2011) encontraron reducciones significativas en la precipitación futura en la época seca de Centroamérica bajo el escenario de emisiones A2. Neelin *et al.* (2006) encontraron un acuerdo entre los modelos al mostrar un patrón seco sobre la región de Centroamérica y del Caribe al final del siglo (2077-2099). Usando 17 MGC, Rauscher *et al.* (2008) citan una disminución en la precipitación durante el verano (JJA), una intensificación del “veranillo” o “canícula” y un desplazamiento hacia el sur de la Zona de Convergencia Inter-Tropical (ZCIT) en el Pacífico Tropical Este como respuestas al cambio climático en la región. Usando un modelo de vegetación (no un modelo hidrológico), Imbach *et al.* (2012) estudiaron cambios en la vegetación y la escorrentía en Centroamérica usando 136 corridas de MCG. Estos autores concluyeron que la escorrentía disminuirá, ya que las temperaturas más altas favorecerán evapotranspiración. Hidalgo *et al.* (2013) confirmaron las proyecciones en la disminución en la escorrentía; especialmente en la parte norte de Centroaméri-

ca se encontraron reducciones del orden de 30% en algunos meses del verano boreal. También Hidalgo *et al.* (2013) confirmaron una tendencia a veranillos más acentuados, lo cual había sido mencionado en Rauscher *et al.* (2008). Hay una tendencia significativa (especialmente en la parte norte de Centroamérica) hacia mayor predominancia de sequías extremas (años en los cuales la escorrentía es menor que el percentil 10 durante 1950-1999) al final de siglo, y aunque hay gran variabilidad entre los modelos acerca de la magnitud de la predominancia del porcentaje de área seca, es evidente que habrá un incremento significativo hacia el futuro (Hidalgo *et al.*, 2013).

En MINAET (2012) y Alvarado *et al.* (2011 y 2012) se menciona que Costa Rica en particular y Centroamérica en general son los “puntos calientes” más prominentes del Trópico en el tema del cambio climático debido a la disminución en las precipitaciones en JJA, en consistencia con los resultados encontrados en otros estudios previamente mencionados (ver por ejemplo Hidalgo *et al.*, 2013 e Imbach *et al.*, 2012), así como en los registros históricos y los resultados de 20 modelos globales usando diferentes escenarios de emisiones (Neelin *et al.*, 2006; Trenberth *et al.*, 2007).

A pesar de que los resultados de muchos estudios implican una disminución generalizada de la precipitación y la escorrentía en Costa Rica, de acuerdo con MINAET (2012) no es de esperar que el clima en Costa Rica responda de manera uniforme, sino que se verá sometido a extremos secos y lluviosos. Así, las proyecciones de un escenario de emisiones alto indica que para el período 2011-2040 en el Caribe se estiman aumentos en la precipitación del orden de 35 a 75% para el período mayo-julio, debido a una menor actividad de los frentes fríos durante el invierno. En la vertiente Pacífica y en la Zona Norte el modelo estima menos precipitación a la actual y una intensificación del veranillo que es consistente con Hidalgo *et al.* (2013) y Rauscher *et al.* (2008).

En el Cuadro 8.2 de la “Segunda Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático” (MINAET, 2009) se muestra una lista de referencias relacionadas con estudios de cambio climático en Costa Rica, y también en la Tabla i.3 de ese documento se listan recientes evidencias del cambio climático en Costa Rica. En este estudio, los cambios esperados en precipitación a final del siglo (2071-2100) en relación con el escenario base (1961-1990), obtenidos a través

del modelo PRECIS forzado con el modelo HadAM3P bajo el escenario de emisiones A2, son de signo negativo en la costa Pacífica con reducciones de hasta -56% en la Península de Nicoya, y de signo positivo en la vertiente Caribe con aumentos de hasta 49% costa norte de la ciudad de Limón. La temperatura máxima aumentará de 2.4 a 7.9°C dependiendo de la localización, mientras que la temperatura mínima se incrementará de 1.4 a 3.8°C dependiendo de la localización. Similares conclusiones se encuentran en Alvarado *et al.* (2012) con respecto a la precipitación, pero se muestran regiones en el Caribe Sur en las que disminuirán las temperaturas.

5.3 Pronóstico climático estacional en América Central para áreas urbanas, incluyendo las dimensiones físicas y humanas

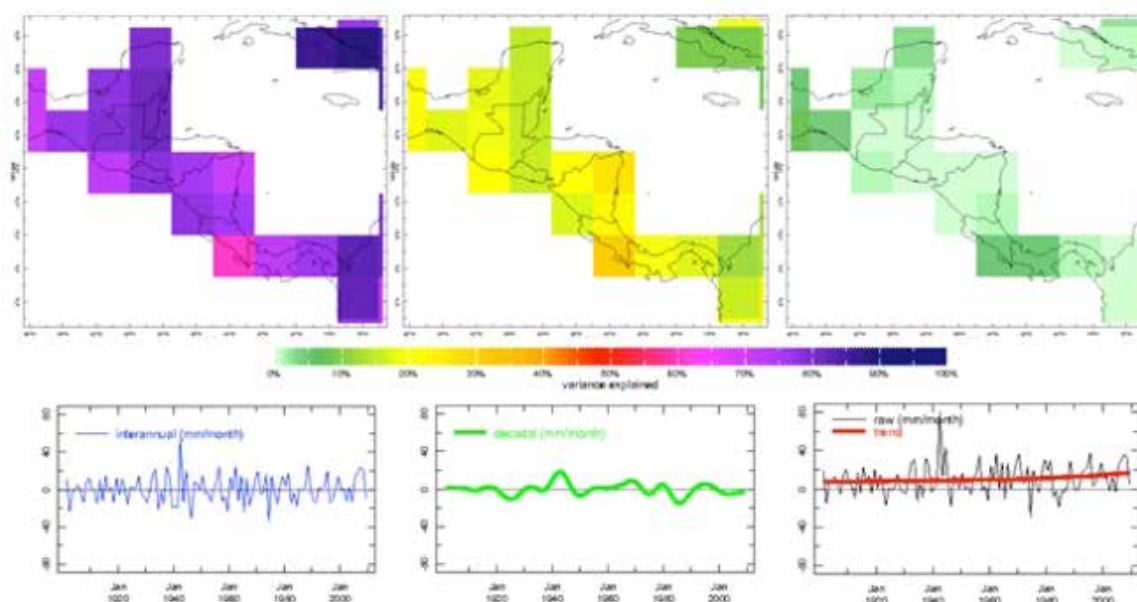
Análisis recientes en América Central muestran que las tendencias asociadas con el número anual de impactos y desastres relacionados con eventos hidrometeorológicos no pueden ser explicadas a través de tendencias climáticas únicamente. Esto significa que otras variables, tales como aquellas asociadas

con aspectos socioeconómicos, deberían ser incluidas en este tipo de análisis para explicar estas variabilidades y sus impactos asociados (*e.g.* Alfaro *et al.*, 2010).

Por ejemplo, un análisis para Centro América de la señal anual de precipitación indica que 84% de la variabilidad total está asociada a variaciones interanuales, mientras que 14% está relacionado con variaciones decadales (ver Figura 3). Suponiendo que los modelos de cambio climático son correctos (una suposición no necesariamente correcta) y que en consecuencia se esperan escenarios con mayor propensión a sequías, éstas podrían verse amplificadas –o disminuidas– también en la región por episodios decadales (10-30 años) o interanuales (unos pocos años) asociados a la variabilidad natural del sistema climático (Becker *et al.*, 2014 y Greene *et al.*, 2011).

Adicionalmente, Hidalgo y Alfaro (2012) encontraron que el actual contraste socioeconómico nortesur entre los países, en los cuales los países del sur –Panamá y Costa Rica– presentan mejores condiciones de vida que el resto de la región, no va a disminuir en el tiempo y podría más bien incrementarse, de acuerdo con algunos escenarios climáticos y so-

Figura 3. Precipitación total anual en la región centroamericana



Los paneles superiores muestran la distribución espacial de la varianza total explicada por cada escala con respecto a la varianza total, mientras que los inferiores muestran la serie de tiempo asociada a la escala correspondiente para todo el dominio espacial considerado. Las varianzas explicadas para cada escala son 84%, 14% y 2% respectivamente. La resolución espacial es de 0.5°, usando datos CRUv3.21; para detalles ver Greene *et al.* (2011). Los paneles inferiores muestran la descomposición temporal de la señal anual de precipitación en escalas interanual (izquierda), decadal (centro) y tendencia de largo plazo (deracha).

ciales futuros elaborados por la Comisión Económica para América Latina (CEPAL). Es más, Panamá y Costa Rica son los únicos países que presentan mejores condiciones de vida para final de siglo al tomar en cuenta, por ejemplo, el efecto positivo en el aumento del producto interno bruto. Debido a lo anterior, es muy probable que las diferencias norte-sur en los estándares de vida se incrementen en la región, por lo que se debe prestar atención a los aspectos, tanto físicos como socioeconómicos, que podrían jugar un papel importante en el incremento de estas diferencias (Hidalgo y Alfaro, 2012).

Considerando el escenario mencionado anteriormente, la predicción climática estacional para áreas urbanas jugaría un papel crucial, especialmente en los campos de la planificación y del manejo integrado de cuencas. Estas predicciones no deberían abarcar solamente lo relacionado con medidas de tendencia central de una variable particular, sino también aspectos de su variabilidad y eventos extremos. Un factor importante a considerar cuando se estudian los eventos extremos en áreas urbanas, es el del uso de la tierra (*e.g.*, planificación territorial asociada a la urbanización), incluyendo además la manutención de las estructuras hidráulicas en relación con la influencia de aspectos climáticos y sus impactos como inundaciones y/o deslizamientos. Todos estos aspectos deberían considerarse al diseñar un sistema de pronóstico particular para las ciudades.

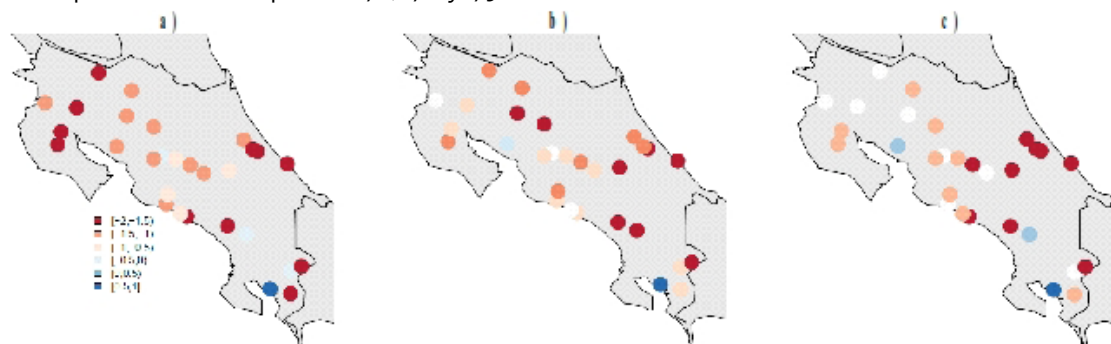
Desde 1997 se han venido realizando en distintas partes de Latinoamérica los llamados Foros Regionales de Predicción Climática (conocidos como RCOFs por sus siglas en inglés), en un esfuerzo por producir productos de predicción climática (IRI, 2001). Ellos han sido financiados por diversas agen-

cias internacionales y con la asistencia de distintas entidades como el Comité Regional de Recursos Hidráulicos o CRRH en Centroamérica (Donoso y Ramírez, 2001; García-Solera y Ramírez, 2012) como uno de los comités asociados al Sistema de Integración Centroamericana o SICA, que participa también en otras iniciativas regionales como la del Observatorio Latinoamericano de Eventos Extraordinarios, OLE (Muñoz *et al.*, 2010; Muñoz *et al.*, 2012).

Alfaro *et al.* (2003) agregan que estos foros generalmente reúnen a los representantes de los servicios meteorológicos e hidrológicos, así como a los miembros de la comunidad científica y académica, que trabajan en la elaboración de las perspectivas climáticas regionales y locales. El objetivo de estos foros es el de usar la experiencia climática nacional para elaborar una perspectiva climática de consenso regional, generalmente de precipitación, de los próximos meses y que además se presente en una forma útil para las distintas agencias involucradas. La metodología recomendada para los mismos es simple y esta perspectiva se integra luego regionalmente para ayudar a los distintos servicios meteorológicos en sus diversas actividades, así como también a los tomadores de decisión y grupos de interés involucrados.

Maldonado *et al.* (2013) reportaron que recientemente se efectúan los llamados Foros de Aplicaciones Climáticas, luego de los RCOFs de América Central, con el fin de traducir a los usuarios los posibles impactos asociados a las predicciones climáticas y de tratar de aliviar el hecho de que algunas veces esta información no es usada necesariamente por los tomadores de decisión. Del proceso de retroalimentación en estas reuniones emergió la necesidad

Figura 4. Distribución espacial para valores del SPI en diferentes estaciones de Costa Rica para una escala temporal de a) 6, b) 12 y c) 36 meses



El Programa de Pago por Servicios Ambientales (PPSA) en Costa Rica

por Mary Luz Moreno Díaz*

El proceso del PPSA respondió a la problemática de la deforestación producida desde mediados de los años 50 en Costa Rica. En este sentido, la tasa de deforestación en Costa Rica pasó de 46.500 ha/año en 1950 a aproximadamente 16.000 ha/año en 1997 (De Camino, Segura, Arias y Pérez, 2000). Se inició con una serie de incentivos forestales y se fue evolucionando hasta el PPSA.

Costa Rica establece las bases de un PPSA como un instrumento de política para “fortalecer el desarrollo del sector de recursos naturales” (Art. 46), mediante la Ley Forestal No. 7575 (1996). Los servicios ambientales son definidos en el Artículo 3, inciso k de la Ley Forestal como “los que brindan el bosque y las plantaciones forestales y que inciden directamente en la protección y el mejoramiento del medio ambiente”. Se reconocen los siguientes servicios ambientales: mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (fijación, reducción, secuestro, almacenamiento y absorción), protección del agua para uso urbano, rural o hidroeléctrico, protección de la biodiversidad para conservarla y uso sostenible, científico y farmacéutico, investigación y mejoramiento genético, protección de ecosistemas, formas de vida y belleza escénica natural para fines turísticos y científicos (Ley No.7575, 1996, Art.3, inciso k).

Los actores sociales participantes en el esquema de PSA se pueden clasificar en dos esferas: la pública y la privada. Los actores de la esfera pública representan diversas organizaciones estatales y no estatales que tienen influencia directa en el PSA (Sistema Nacional de Áreas de Conservación-SINAC, Fondo Nacional de Financiamiento Forestal-FONAFIFO, entre otras). Por su parte, los actores de la esfera no pública incluyen organizaciones en su mayoría de carácter privado como Organizaciones no Gubernamentales (ONG), Centros Agrícolas Cantonales (CAC), asociaciones, empresas privadas, entre otras, que realizan actividades dirigidas hacia el desarrollo y beneficio de los propietarios del recurso forestal que reciben PSA. También se incluyen los propietarios del recurso forestal, que a su vez incluyen privados, poseedores y territorios indígenas.

Las principales fuentes de financiamiento del PPSA han provenido del 3,5% del impuesto a los combustibles, fondos provenientes de préstamos del Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF), el apoyo financiero del Banco Alemán KfW, el canon de aprovechamiento del agua y contribuciones de empresas y organizaciones. En total, el PPSA pagó 27.2 millones de dólares en sus diferentes modalidades en el periodo 1997-2012.

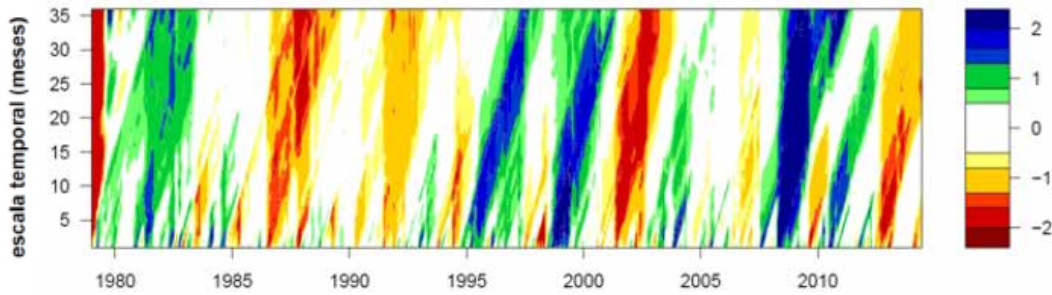
Desde su inicio en 1997 y hasta 2012, el PPSA contrató 934.274.60 hectáreas a nivel nacional en las modalidades de: protección del bosque (89,7%), reforestación (6,1%), manejo del bosque (3,1%), regeneración natural (1%) y plantaciones establecidas (0,1%). Las últimas tres modalidades se han contratado intermitentemente durante el periodo. En 2003 se creó la modalidad de Sistemas Agroforestales, en el cual se les reconoce a los propietarios por árbol; el total de árboles reconocido fue de 4.677.135 hasta 2012 (Fonafifo, 2014).

Referencias

- De Camino, R.; Segura, O.; Arias, L. G. & Pérez, I. (2000). *Costa Rica Forest Strategy and the Evolution of Land Use*. Washington, DC: World Bank.
- Fonafifo (2014). Estadísticas del Pago por Servicios Ambientales. Fondo Nacional de Financiamiento Forestal. Date August 14, 2014. Accessed at: http://www.fonafifo.go.cr/psa/estadisticas/distribucion_hectareas_contratadas_psa_anno_modalidad_1997_2012.pdf

* Investigadora-docente. Centro Internacional de Política Económica para el Desarrollo Sostenible (CINPE), Universidad Nacional, Costa Rica (mmoreno@una.cr).

Figura 5. Valores del SPI para la estación ubicada en el CIGEFI-UCR (9° 56' 10" N, 84° 2' 42" W, 1236msnm, San José, Costa Rica)



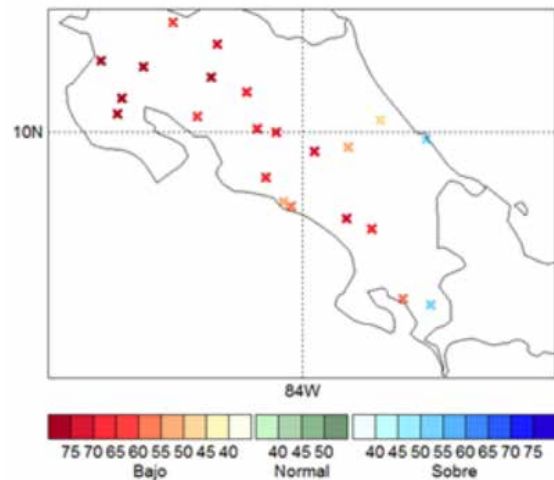
de efectuar predicciones estacionales sobre aspectos relacionados a eventos extremos y días con precipitación (es decir, cómo llueve, además de cuánto llueve). Estos aspectos pueden ser atendidos usando diferentes variables, herramientas y técnicas de ajuste de escala (Maldonado y Alfaro, 2011; Amador y Alfaro, 2009; Alfaro *et al.*, 1998). Sin embargo, Alfaro y Pérez-Briceño (2014) y Maldonado *et al.* (2013) encontraron que al analizar la distribución geográfica estacional de los reportes de desastres, ésta no necesariamente concuerda con la distribución geográfica de los eventos extremos de precipitación, reforzando las ideas expuestas anteriormente de que variables sociales, como la vulnerabilidad poblacional, deben ser incluidas en el análisis de los impactos de eventos extremos, y resaltando la necesidad de incluir los aspectos relacionados con la predicción estacional de eventos extremos y su variabilidad en las áreas urbanas de América Central.

Recientemente se ha planteado el uso de un índice estandarizado de precipitación o SPI (por sus siglas en inglés), como una forma de atender la necesidad del monitoreo o vigilancia y predicción de eventos extremos (OMM, 2012).¹

1. El cálculo del SPI para cualquier localidad se basa en el registro de precipitaciones a largo plazo para un período deseado. Dicho registro a largo plazo se ajusta a una distribución de probabilidades y a continuación se transforma en una distribución normal, de modo que el SPI medio para la localidad y el período deseado sea cero. Los valores positivos de SPI indican que la precipitación es mayor que la mediana, y los valores negativos, que es menor. Dado que el SPI está normalizado, los climas húmedos y secos se pueden representar del mismo modo, por lo que también se puede hacer un seguimiento de los períodos húmedos utilizando el SPI. Por ejemplo, los episodios de sequía tienen lugar siempre que el SPI sea continuamente negativo y alcance una intensidad de -1,0 o inferior. El episodio finaliza cuando el SPI alcanza valores positivos (OMM, 2012).

La Figura 4 muestra los valores del SPI para distintas estaciones meteorológicas de Costa Rica, comparando periodos de 6, 12 y 36 meses hacia atrás a partir de junio de 2014. Varias de estas estaciones meteorológicas se ubican en regiones urbanas importantes como San José, Alajuela, Cartago, Limón y Liberia, entre otras. Nótese en la Figura 4 que las condiciones de déficit de precipitación han prevalecido por más de seis meses e incluso hasta tres años en algunas de las estaciones como la zona urbana de Limón o San José, la capital. El efecto acumulado de sequías como la mencionada aquí trae en ge-

Figura 6. Pronóstico climático estacional probabilístico del SPI para el periodo julio-agosto-septiembre-octubre de 2014



Utilizando un modelo estadístico de correlación canónica basado en la herramienta CPT (ver <http://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/tools/cpt/>). Como campo predictor se utilizaron las anomalías de la temperatura superficial del mar del mes de junio para el área [60°N-10°S; 150°E-30°W] y la persistencia de las estaciones de los meses mayo-junio. El periodo de calibración del modelo fue de 1979 a 2013, con un máximo de 15 modos.

neral importantes impactos negativos a tomadores de decisión en distintos sectores; sin embargo, la ventaja que se tiene con este tipo de eventos es que dado que ocurren más lentamente que otros eventos climáticos, es posible predecir en muchos casos con suficiente antelación su ocurrencia, distribución espacial e intensidad.

La Figura 5 nos muestra el caso particular de la estación ubicada en el Centro de Investigaciones Geofísicas de la Universidad de Costa Rica en San José. Nótese que este índice puede ser usado, no sólo para la vigilancia de condiciones deficitarias de lluvia (2002-2003, entre otros), sino también para situaciones en las cuales los periodos pueden ser considerados como húmedos o muy húmedos. Tal es el caso del periodo 2007-2010, por ejemplo. Esta figura puede ser utilizada también para analizar el efecto acumulado de sequías a distintas escalas de tiempo (eje vertical), dando una idea de su severidad y tipo: periodos prolongados en tonos rojos indican duracio-

nes largas, mientras que tonos rojos extendiéndose a lo largo de múltiples escalas temporales (eje vertical) indican sequías que han podido evolucionar de sequías meteorológicas (pocos meses) a agrícolas o hidrológicas (múltiples meses).

Otra de las ventajas de este índice es que permite su uso en la predicción estacional. La Figura 6 muestra el pronóstico del SPI para el cuatrimestre julio-octubre de 2014. Se observa de dicha figura que el escenario más probable es la persistencia de condiciones deficitarias de precipitación durante los próximos cuatro meses, especialmente en la vertiente del Pacífico de Costa Rica. Lo anterior, sumado al hecho de que el déficit puede rastrearse en algunas regiones, meses o años hacia atrás, podría afectar aspectos socioeconómicos clave en las regiones urbanas, como el abastecimiento de agua potable o la generación hidroeléctrica, ya que dicha vertiente experimenta su época seca durante el invierno boreal (Alfaro, 2002).

Autores de las secciones de este capítulo

H.G. Hidalgo: Resumen, Introducción, Conclusiones, Recomendaciones y subcapítulos 1, 2, 3 y 4.

V.H. Chacón participó en el subcapítulo 2.

D.A. Mora participó en el subcapítulo 3.

C.Herrero participó en el subcapítulo 4.

E.J. Alfaro, A.G. Muñoz y N.P. Mora: subcapítulo 5.

6. Conclusiones

La cobertura de agua potable en las ciudades más importantes de Costa Rica es bastante alta en general. Sin embargo, en algunas ciudades se dan racionamientos de agua en la época seca. Aunque la sobreexplotación de recursos hídricos en algunas regiones es la principal causa del problema, la disponibilidad de agua podría mejorarse si se redujera la cantidad de pérdidas en el sistema de abastecimiento. Las pérdidas de agua son bastante importantes y limitan la obtención de créditos para el mejoramiento del sistema por parte de entidades financieras que exigen que se reduzcan estas pérdidas como requisito. También se ha argumentado que es necesaria la creación de planes de ordenamiento territorial, que protejan fuentes de abastecimiento de aguas superficiales y subterráneas.

Sin embargo, el reto más importante en cuanto a abastecimiento y saneamiento de aguas en el país se refiere a las bajas coberturas de alcantarillado sanitario y principalmente el porcentaje tan bajo del agua que es tratada antes de ser vertida a los ríos. La construcción de una nueva planta de tratamiento en la GAM es un paso en la dirección correcta de aumentar este porcentaje. Sin embargo, hay mucho por hacer al respecto. La costumbre de usar tanques sépticos es generalizada en el país, aunque es menor en las zonas urbanas. Se ha criticado su uso, ya que en muchos casos no se les da el mantenimiento adecuado, y en otras ocasiones se han construido estos tanques con desagües hacia suelos poco permeables. Tampoco hay estudios que midan la contaminación de estos tanques hacia mantos acuíferos usados para el abastecimiento de agua.

Sin lugar a dudas, la falta de infraestructura de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento o el deterioro de los mismos, ha propiciado en ciertos sectores del país la presencia de enfermedades transmisibles tales como cólera, fiebre tifoidea, salmonelosis, shigelosis, amebiasis, giardiasis, otras infecciones intestinales, hepatitis viral, etcétera (AyA, 2002). Las enfermedades que han sido relacionadas con el agua y detectadas en el país son, entre otras, las siguientes: disentería amebiana, disentería bacilar, enfermedades diarreicas (incluyendo las dos anteriores), cólera, hepatitis A, fiebre paratifoidea y tifoidea, poliomielitis, esquis-

tosomiasis, dengue y paludismo. La variabilidad y el cambio climático, así como los cambios en el uso del suelo –como la urbanización–, han traído como consecuencia graves problemas de inundaciones en las principales ciudades del país. De hecho, la Sala Constitucional se ha pronunciado en relación con la necesidad de que se busque una solución a algunos de los problemas más graves de inundación en algunas ciudades.

Estudios recientes han indicado que en Costa Rica se esperan reducciones de la escorrentía en las próximas décadas. Sin embargo, cabe destacar que paradójicamente estas reducciones climáticas podrían ser acompañadas de una tendencia hacia eventos extremos positivos más grandes. Esto por cuanto las reducciones en la escorrentía ocurrirían a escalas de tiempo mensuales o anuales, mientras que los eventos meteorológicos son del orden de horas a días.

Las inundaciones urbanas en Costa Rica están relacionadas con tres factores de origen: 1) inadecuada capacidad de las obras pluviales y ríos, 2) cambios en el uso de la tierra (e.g. urbanización), y 3) cambio climático (e.g. aumento en los eventos extremos). Es imprescindible determinar la contribución relativa de estos factores.

7. Recomendaciones

Es necesaria una mayor conciencia acerca del problema del tratamiento de aguas negras y se debe invertir más recursos en plantas de tratamiento en zonas urbanas. La contaminación de los ríos urbanos es quizás el mayor problema relacionado con el recurso hídrico en aguas urbanas.

En cuanto a las inundaciones urbanas es necesaria una mayor cantidad de estudios que determinen la solución a estos problemas. Cada cuenca tiene características particulares, lo que hace difícil encontrar un tipo de solución única para todos los casos. En algunos lugares se está obligando a los desarrolladores de nuevas urbanizaciones a proveer un sistema para disponer de las aguas pluviales. Esto generalmente se hace por medio de lagunas de infiltración. Desafortunadamente, hay casos en que

las lagunas se abandonan una vez que los permisos de construcción han sido aprobados y hace falta un mejor control por medio de las municipalidades y ministerios encargados de verificar la correcta operación de estas lagunas.

Hace falta incorporar aspectos relacionados con el cambio climático proyectado en la planificación integrada del recurso hídrico. Debido a la incer-

tidumbre de las proyecciones de cambio climático, es necesario un mecanismo de planificación que incluya un manejo adaptativo del recurso hídrico en el cual las proyecciones climáticas a largo plazo guían planificación a más corto plazo, y pasado un cierto número de años se revisan las proyecciones climáticas y la planificación a corto plazo para seguir avanzando.

8. Referencias

- Aguilar, E. *et al.* (2005). Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. *J Geophys Res Atmos*, 110 (D23). doi:10.1029/2005JD006119.
- Alexander, L.V. *et al.* (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290.
- Alfaro, E. y A. Quesada (2010). Ocurrencia de ciclones tropicales en el Mar Caribe y sus impactos sobre Centroamérica. *Revista Intersedes*, 11(22), 136-153.
- Alfaro, E. y P. M. Pérez-Briceño (2014). Análisis del impacto de fenómenos meteorológicos en Costa Rica, América Central, originados en los mares circundantes. *Revista de Climatología*, 14, 1-11.
- Alfaro, E. (2002). Some Characteristics of the Annual Precipitation Cycle in Central America and their Relationships with its Surrounding Tropical Oceans. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 9(2), 88-103.
- Alfaro, E.; A. Quesada y F. Solano (2010). Análisis del impacto en Costa Rica de los ciclones tropicales ocurridos en el Mar Caribe desde 1968 al 2007 (Analysis of Caribbean Sea tropical cyclones occurrences from 1968 to 2007 and their impact in Costa Rica). *Revista Diálogos*, 11(2), 22-38. <http://historia.fcs.ucr.ac.cr/>.
- Alfaro, E.; J. Soley y D. Enfield (2003). *Uso de una Tabla de Contingencia para Aplicaciones Climáticas (Use of a Contingency Table for Climatic Applications)*. Guayaquil, Ecuador: ESPOL y FUNDESPOL. 51pp. ISBN 9978-310-00-2.
- Alfaro, E.; L. Cid y D. Enfield (1998). Relaciones entre el inicio y el término de la estación lluviosa en Centroamérica y los Océanos Pacífico y Atlántico Tropical. *Investigaciones Marinas*, 26, 59-69.
- Alfaro, E. (2007). Escenarios climáticos para temporadas con alto y bajo número de huracanes en el Atlántico. *Revista de Climatología*, 7, 1-13.
- Alianza Clima y Desarrollo (2012). La Gestión de Riesgos de Eventos Extremos y Desastres en América Latina y el Caribe: Aprendizajes del Informe Especial (SREX) del IPCC, disponible en www.cdkn.org/srex
- Alvarado, L.; Contreras, W.; Alfaro M. y Jiménez, S. (2011 y 2012). *Escenarios de cambio climático regionalizados para Costa Rica*. San José, Costa Rica: Departamento de Climatología e Investigación Aplicada. Instituto Meteorológico Nacional (IMN). Ministerio de Ambiente y Energía (MINAET).
- Amador, J. y E. Alfaro (2009). Métodos de reducción de escala: Aplicaciones al clima, variabilidad y cambio climático. *Revista REVIBEC*, 11, 39-52.

- Arias, A.L. (2010). "Situación de Potabilización y Saneamiento en Costa Rica". En: *Decimosexto Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible*. 36 pp.
- AyA (2002). Análisis Sectorial Agua Potable y Saneamiento de Costa Rica. Informe Final 2002. San José, Costa Rica: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. 420 pp.
- AyA (2004). Información estadística, Servicios, Consumo, Producción, Facturación, Cobranza y Cobertura 1992-2002. San José, Costa Rica: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Dirección de Planificación. 84 pp.
- AyA (2013). Zonificación para disponibilidad de agua potable para el Acueducto Metropolitano. Subgerencia Gestión de Sistemas-Gran Área Metropolitana. San José, Costa Rica: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. 3 pp.
- Barnett, T.P. *et al.* (2008). Human-induced changes in the hydrology of the western US. *Science*, 319: 1080-1083.
- Becker, B.; C. Buontempo y Á.G. Muñoz (2014). Drivers of weather and climate risk in El Salvador. Technical Report. UK MetOffice – Hadley Centre. 40 pp. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/264079006_Drivers_of_weather_and_climate_risk_in_El_Salvador?ev=prf_pub. (Recuperado el 11 de agosto de 2014).
- Brekke, L.D.; M.D. Dettinger; E.P. Maurer y M. Anderson (2008). Significance of model credibility in estimating climate projection distributions for regional hydroclimatological risk assessments. *Clim. Change*, 89: 371-394.
- Corrales L. (2010, diciembre). "Informe final Efectos del Cambio Climático para Centro América". En: Cuarto Informe Estado de la Región. 53 pp.
- Delworth, T.L. *et al.* (2012). Simulated Climate and Climate Change in the GFDL CM2.5 High-Resolution Coupled Climate Model. *Journal of Climate*, 25: 2755-2781.
- Donoso, M. and P. Ramirez (2001). Latin America and the Caribbean: Report on the Climate Outlook Forums for Mesoamerica. In: Coping with the climate: A step Forward. Workshop Report "A multi-stakeholder review of Regional Climate Outlook Forums", October 16-20 (2000), Pretoria, South Africa. Publication IRI-CW/01/1, pp. 11-18.
- EF (2012). "Planta de tratamiento de la GAM entrará en operación parcialmente". *El Financiero*. <http://www.elfinancierocr.com> (Recuperado el 28 de septiembre de 2012).
- García-Solera, I. y P. Ramírez (2012). Central America's Seasonal Climate Outlook Forum. The Climate Services Partnership, 8 pp. http://www.climate-services.org/sites/default/files/CRRH_Case_Study.pdf (Recuperado el 16 de enero de 2014).
- Greene, A.; L. Goddard y R. Cousin (2011). Web Tool Deconstructs Variability in Twentieth-Century Climate. *EOS* 92, 45, 397-408.
- Hidalgo H.G. (2011). Los recursos hídricos en Costa Rica: un enfoque estratégico. En *Diagnóstico del Agua en Las Américas*. Interamerican Network of Academies of Sciences, pp. 203-219.
- Hidalgo H.G. (2010). Impactos de la variabilidad y cambio hidro-climático en sistemas humanos y ambientales: preparación de desastres, manejo de recursos hídricos y planeamiento. *Estrategia 2050*. 3:12-14.
- Hidalgo H.G. y E.J. Alfaro (2012). Global Model selection for evaluation of Climate Change projections in the Eastern Tropical Pacific Seascape. *International Journal of Tropical Biology and Conservation*, 60:67-81.
- Hidalgo H.G.; J.A. Amador; E.J. Alfaro y B. Quesada (2013). Hydrological climate change projections for Central America. *Journal of Hydrology*, 495: 94-112.
- Hidalgo, H.G. and E.J. Alfaro (2012). Some Physical and Socio-economical Aspects of Climate Change in Central America. *Progress in Physical Geography*, 36(3), 380-399.
- Hirota, N., Y.N. Takayabu, M. Watanabe, and M. Kimoto (2011). "Precipitation Reproducibility over Tropical Oceans and Its Relationship to the Double ITCZ Problem in CMIP3 and MIROC5 Climate Models". *Journal of Climate*, 24: 4859-4873.

- Imbach, P. *et al.* (2012). Modeling Potential Equilibrium States of Vegetation and Terrestrial Water Cycle of Mesoamerica under Climate Change Scenarios. *Journal of Hydrometeorology*, 13: 665-680.
- INEC (2013). *Mortalidad infantil y evolución reciente*. Gobierno de Costa Rica, Instituto Nacional de Estadística y Censos. 8 pp.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. M. Parry, O. Canziani, J. Palutikof, P. Van der Linden, C. Hanson (Eds). Cambridge: Cambridge University Press. 841pp.
- IRI (2001). Latin America Regional Report. In: Coping with the climate: A step Forward. Workshop Report "A multi-stakeholder review of Regional Climate Outlook Forums", October 16-20 (2000), Pretoria, South Africa. Publication IRI-CW/01/1, pp. 136-138.
- Jiang X. *et al.* (2012). Simulation of the intraseasonal variability over the Eastern Pacific ITCZ in climate models. *Climate Dynamics*, 39: 617-636.
- Kalnay, E. *et al.* (1996). The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77: 437-471.
- Karmalkar, A. V., R. S. Bradley y H. F. Díaz (2011). Climate change in Central America and Mexico: regional climate model validation and climate change projections. *Climate Dynamics*, 37: 605-629, doi: 10.1007/s00382-011-1099-9.
- Kerr R.A. (2010). Models Foresee More-Intense Hurricanes in the Greenhouse. *Science*, 327: 399-399.
- La Nación (2014). "Costa Rica invertirá €750.000 millones para tratar las aguas negras y sanear ríos". Periódico *La Nación*. <http://www.nación.com> (Recuperado el 8 de febrero de 2014).
- Liu, H.L.; M.H. Zhang y W.Y. Lin (2012). An Investigation of the Initial Development of the Double-ITCZ Warm SST Biases in the CCSM. *Journal of Climate*, 25: 140-155.
- Maldonado, T. y E. Alfaro (2011). Predicción estacional para ASO de eventos extremos y días con precipitación sobre las vertientes Pacífico y Caribe de América Central, utilizando análisis de correlación canónica. *Revista Intersedes*, 13 (24), 78-108.
- Maldonado, T.; E. Alfaro; B. Fallas and L. Alvarado (2013). Seasonal prediction of extreme precipitation events and frequency of rainy days over Costa Rica, Central America, using Canonical Correlation Analysis. *Advances in Geosciences*, 33, 41-52.
- Mantua, N.J.; S.R. Hare; Y. Zhang, J.M. Wallace y R.C. Francis (1997). A Pacific decadal climate oscillation with impacts on salmon. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 78, pp 1069-1079.
- Martin, E. R. y C. Schumacher (2011). The Caribbean low-level jet and its relationship with precipitation in IPCC AR4 models. *J. Climate*, 24:5935-5950.
- Meehl, G.A.; J.M. Arblaster y C. Tebaldi (2007). Contributions of natural and anthropogenic forcing to changes in temperature extremes over the United States. *Geophysical Research Letters*, L19709, doi:10.1029/2007GL030948.
- MINAET (2000). Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático. Gobierno de Costa Rica, Ministerio de Ambiente y Energía. Producción y edición: Instituto Meteorológico Nacional. 116 pp.
- MINAET (2009). Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático. Gobierno de Costa Rica, Ministerio de Ambiente y Energía. Producción y edición: Instituto Meteorológico Nacional. 264 pp.
- MINAET. Informe final del Proyecto: Mejoramiento de las capacidades nacionales para la evaluación de la vulnerabilidad y adaptación del sistema hídrico al cambio climático en Costa Rica, como mecanismo para disminuir el riesgo al cambio climático y aumentar el índice de desarrollo humano. Ministerio de Ambiente y Energía. Producción y edición: Instituto Meteorológico Nacional. 46 pp.
- Moreno Díaz, M. L. (2009). Valoración económica del uso de tecnologías de saneamiento ecológico para aguas residuales domiciliarias. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 13, 1-13.
- Muñoz, Á.G. *et al.* (2010). An Environmental Watch system for the Andean countries: El Observatorio Andino. *Bulletin of the American Meteorological Society-BAMS*, 91, 1645-1652.

- Muñoz, Á.G. (2012). Risk Management at the Latin American Observatory. Chapter 22 in *Risk Management - Current Issues and Challenges*. ISBN: 978-953-51-0747-7, 24 pp.
- Neelin, J.D.; M. Munnich; H. Su; J.E. Meyerson y C.E. Holloway (2006). Tropical drying trends in global warming models and observations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103:6110-6115.
- OLADE (2013). Vulnerabilidad al cambio climático de los sistemas de producción hidroeléctrica en Centroamérica y sus opciones de adaptación. Informe de consultoría. Organización Latinoamericana de Energía.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM) (2012). Guía del usuario sobre el índice estandarizado de precipitación (OMM-N° 1090). M. Svoboda, M. Hayes y D. Wood (eds.). Ginebra. 15 pp.
- Pierce, D.W. *et al.* (2008). Attribution of declining western US snowpack to human effects. *Journal of Climate*, 21: 6425-6444.
- Pierce, D.W.; T.P. Barnett; B.D. Santer & P.J. Gleckler (2009). Selecting global climate models for regional climate change studies. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 106: 8441-8446.
- Rauscher S.A.; F. Giorgi; N.S. Diffenbaugh and A. Seth (2008). Extension and Intensification of the Meso-American mid-summer drought in the twenty-first century. *Climate Dynamics*, 31:551-571.
- Trenberth, K.E. *et al.* (2007). "Observations: surface and atmospheric climate change". In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt K, Tignor M, Miller H (eds.). *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Chap 3. New York: Cambridge University Press, pp. 235-336.
- Ministerio de Salud (2011). Análisis y determinantes sociales de la situación de salud. Memoria institucional, pp. 26-84. Ministerio de salud.

9. Colaboradores

Roberto Villalobos Herrera (rvillaloboscr88@gmail.com)
Estudiante, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.

Jorge Aguilar Barboza (jaguilar@aya.go.cr)
Unidad de Gestión de Información, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

Javier Valverde Hernández (jvalverde@aya.go.cr)
Subgerencia de Gestión de Sistemas, GAM, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

Marcos Quesada Sanabria (maquesada@aya.go.cr)
Subgerencia de Gestión de Sistemas, GAM, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

Ana L. Arias Zúñiga (ana.lorena@itcr.ac.cr)
Ingeniería Ambiental, Instituto Tecnológico de Costa Rica

Alejandra Rojas González (alejandra.rojasgonzales@ucr.ac.cr)
Escuela de Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica

Matías A. Chaves Herrera (matias61@gmail.com)
Escuela de Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica

10. Acrónimos

ASADAS	Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados.
AyA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.
CEPAL	Comisión Económica para América Latina.
CMIP3	Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados 3.
CMIP5	Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados 5.
GAM	Gran Área Metropolitana.
EF	El Financiero (Periódico).
ENOS	El Niño-Oscilación del Sur.
ESPH	Empresa de Servicios Públicos de Heredia.
FAPM	Fuentes de agua potable mejoradas.
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos.
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático.
IRI	International Research Institute for Climate and Society.
JICA	Agencia de Cooperación Internacional del Japón.
LNA	Laboratorio Nacional de Aguas.
MCG	Modelos (climáticos) de Circulación General.
MINAET	Ministerio del Ambiente, Energía y Mares de Costa Rica.
NCEP-NCAR	Reanálisis Base de datos meteorológicos del National Center for Environmental Prediction/ National Center for Atmospheric Research de los Estados Unidos de América.
ODP	Oscilación Decadal del Pacífico.
OLE	Observatorio Latinoamericano de Eventos Extraordinarios.
OMM	Organización Meteorológica Mundial.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
PCM	Programa Conjunto de Monitoreo.
RCOF	Foros Regionales de Predicción Climática.
SPI	Índice estandarizado de precipitación.
TN10	Número de noches frías (menor al percentil 10).
TN90	Número de noches cálidas (mayor al percentil 90).
TX10	Número de días fríos.
TX90	Número de días cálidos.
UNICEF	Fondo de las Naciones Unidas para la Niñez.
ZCIT	Zona de Convergencia Intertropical.

Cuba



Vista panorámica de La Habana, Cuba. Abajo a la izquierda es posible ver la cámara de rejillas subterránea, destinada a evitar la entrada de objetos y arenas al sifón que mediante un túnel atraviesa la bahía de un lado a otro.
Foto: ©iStock.com/FrankvandenBergh

“Las amenazas más grandes para la preservación de los sistemas interiores de agua en las islas en el Golfo de México y el Caribe están asociadas con la elevación del nivel del mar. En general, los procesos relacionados con el cambio climático representan un reto para asegurar la disponibilidad de agua en las islas”



Singularidades de la gestión de acuíferos insulares en el trópico húmedo: Ciclo urbano del agua en La Habana, República de Cuba

Coordinadora

Daniela de las Mercedes Arellano Acosta

Autores

L.F. Molerio-León

Ma. I. González González

E.O. Planos Gutiérrez

Resumen

La contribución menciona el particular entorno geológico que condiciona la forma en que se desarrolla la fase terrestre del ciclo hidrológico, en el contexto de las islas del Golfo de México y El Caribe. Revisa la situación del recurso agua en esta región geográfica, con el ejemplo de Cuba y especialmente de La Habana, su capital. Refiere notas sobre la situación en Cuba de enfermedades relacionadas con el agua. Por considerarse de utilidad, sobre todo, para las nuevas generaciones de cubanos dedicadas al manejo y protección del agua, recrea la historia del sistema de conducción y los problemas existentes relacionados con el abastecimiento de agua en La Habana, desde su fundación en el año 1516, hasta la actualidad, así como del saneamiento, habida cuenta que el sistema de alcantarillado de la ciudad, concluido en 1915 tiene en su parte central casi 100 años de operación. Como nota final, la contribución resume las situaciones a que se encuentran asociadas las principales amenazas sobre el régimen y la calidad de las aguas terrestres, en los territorios insulares del Golfo de México y El Caribe.

1. Introducción

Los problemas de la gestión adecuada de la hidrología urbana en las islas y pequeñas islas del Trópico Húmedo, están relacionados con las particularidades de su entorno físico-geográfico, las amenazas naturales a las que están sometidas por su posición geográfica, la infraestructura de abastecimiento de agua, drenaje pluvial y aguas servidas, las vulnerabilidades que la asimetría del desarrollo social y económico han provocado o incrementado así como por la composición, distribución y estándar socioeconómico y cultural de la población.

Para la región del Golfo de México y el Caribe estas singularidades se centran en aspectos tales como:

- El predominio de ciudades costeras
- El desarrollo de algunas megalópolis
- La vulnerabilidad social
- La ausencia de fuentes de abasto en el entorno de las ciudades
- El deficiente sistema de abastecimiento de agua doméstica y de evacuación de pluviales y aguas negras
- La concentración de población, la presión de migraciones internas y de turismo local y foráneo.
- Las amenazas naturales a las que está expuesta el área tales como, huracanes, terremotos, vulcanismo, deslaves, deslizamientos y desprendimientos de tierra, inundaciones, sequías, subsidencia, erosión, entre otras
- La antigüedad y baja operatividad de los sistemas de abasto de agua potable y drenaje
- El insuficiente tratamiento de los desechos líquidos y sólidos
- El deficiente proceso de ordenamiento territorial y de planificación física.
- El incumplimiento o la ausencia de ordenanzas municipales o nacionales respecto al cuidado de los sistemas de drenaje urbano.

Estos temas se complican por el modo en que los problemas ambientales mundiales alteran el ciclo urbano del agua. Entre ellos destacan las amenazas naturales derivadas del cambio climático y particularmente, la elevación del nivel del mar y los efectos colaterales que ella produce, como el incremento del avance tierra adentro de la intrusión marina, el empeoramiento de la salinidad de los suelos, las modifi-

caciones de la costa actual, el aumento de las migraciones internas, entre otras.

La contribución aborda estas cuestiones, de manera general, para el contexto de las islas del Golfo de México y El Caribe. Su particular entorno geológico condiciona la forma en que se desarrolla la fase terrestre del ciclo hidrológico. Las ciudades insulares en esta parte del Trópico Húmedo poseen no solamente una importante población local siempre creciente por la migración interna, sino también una enorme población flotante asociada a la economía de servicios, particularmente turísticos que la sustenta. Se revisa la situación de deterioro y escasez sostenida del recurso agua en esta región geográfica con el ejemplo de Cuba y especialmente en La Habana, su capital. Se abordan las principales consecuencias de los efectos negativos del crecimiento de las ciudades insulares respecto a la hidrología urbana y a la forma en que es gestionado el drenaje urbano de la ciudad que hoy, que para el caso de la Habana, a medio milenio de su fundación, casi alcanza los dos millones y medio de habitantes concentrados en un área no mayor de 730 km² y que soporta –mayormente en estiaje– un turismo cercano al millón de personas abastecidos por un sistema de acueducto y alcantarillado que se construyó en 1925, cuya última gran modificación se realizó hace poco más de 50 años y al cual se ha sumado un auge de grandes consumidores de agua, como hoteles, restaurantes, servicios de renta de casas y habitaciones y la agricultura urbana. El esfuerzo continuado para abastecer el desarrollo de una ciudad crecida a expensas de la importación de agua desde fuentes cada vez más lejanas, requiere de un cambio de paradigma para garantizar la sostenibilidad basado en la mejor ciencia disponible a nuestro alcance.

2. El medio físico y la hidrología de las pequeñas y muy pequeñas islas

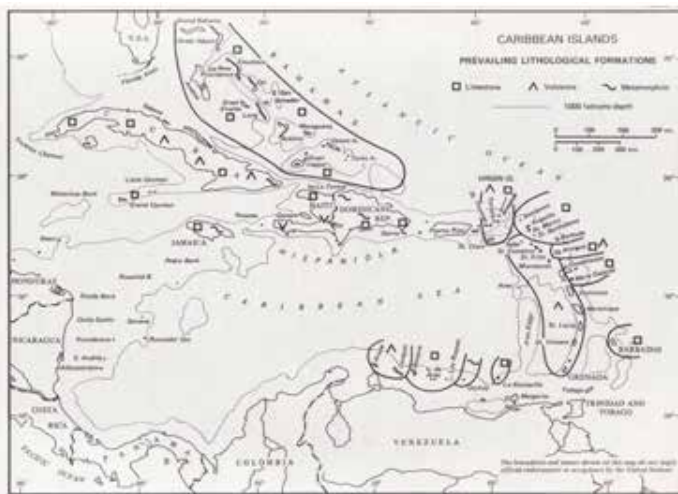
De acuerdo con la Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) se consideran convencionalmente **las pequeñas islas** como aquellas con un área no superior a los 2 mil km² y un ancho de hasta 10 km (Falkland,

1991), aunque en dependencia de sus características geológicas, hidrológicas, y la forma en que se organiza el flujo subterráneo, esa área puede llegar hasta 10 mil km².

Las **muys pequeñas islas** se consideran aquellas cuya área no es mayor de 100 km² y el ancho no supera los 3 km. En la región del Golfo de México y El Caribe se encuentran centenares de islas en estos límites que constituyen estados insulares en sí mismas y que se encuentran entre dos tipos extremos geológicos: las islas carbonatadas y las volcánicas, cada grupo con un relieve particular que ha condicionado el particular modo en que se organiza el escurrimiento superficial y subterráneo en ellas.

Las **islas carbonatadas** han experimentado importantes procesos de carsificación y cavernamiento que han controlado el desarrollo de sistemas cársicos de flujo difuso, epigenéticos y singenéticos; lo que significa que las aguas subterráneas forman sistemas de flujo localmente discontinuos, de espesor muy variable, de corto recorrido, pequeño volumen y escasas reservas. Las zonas de alimentación (recarga) natural de las aguas se vinculan tanto a las pequeñas crestas como a las depresiones. Éstas son generalmente dolinas corrosivas o de hundimiento (en muchos casos antiguos *blueholes*) hacia las que circulan las aguas de lluvia que recargan el manto acuífero.

Figura 1. Litologías fundamentales de las pequeñas islas del Caribe



Tomado de United Nations (1976): Ground Water in the Western Hemisphere. Natural Resources, Water Series No. 4. Dep- Econ. Soc. Affairs, New York, 337.

Estas depresiones son a veces rellenadas de basuras, tierra o escombros como consecuencia de un mal uso de la tierra y una gestión deficiente de los residuales sólidos. Las aguas que llegan a estas depresiones sufren un deterioro de su calidad y, como resultado, se infiltran al acuífero aguas contaminadas. Asimismo, el efecto de propagación de la marea tierra adentro afecta también la calidad de las aguas. Por este motivo, los sitios para la disposición final de las aguas y lodos deberán ser estudiados cuidadosamente a fin de prevenir impactos negativos sobre la calidad ambiental del sitio. La misma razón conduce a que la operación de un sistema de monitoreo del régimen y calidad de las aguas sea imprescindible para garantizar la sustentabilidad de cualquier proyecto de desarrollo.

El cavernamiento local, subordinado a las posiciones del nivel del mar durante las últimas glaciaciones, ha establecido zonas con muy variable capacidad de cimentación, en las que pueden producirse asentamientos diferenciales. A escala de las construcciones civiles que se proyecten y las excavaciones y movimiento de tierras que es necesario realizar se requiere de un conocimiento detallado de las propiedades geotécnicas de los materiales de construcción y del terreno en los sitios de emplazamiento de las obras. Especialmente importante es el hecho, casi nunca tomado en cuenta, de que las construcciones civiles y las pavimentaciones reducen sustancialmente la capacidad de recarga natural de los acuíferos.

En las **islas volcánicas** se encuentran algunos almacenamientos de aguas superficiales que forman *maares* en conos volcánicos (como el Grand Etang, en Grenada), pero el relieve montañoso dominante es una fuerte limitación para el desarrollo de sistemas acuíferos subterráneos. En algunos casos se encuentra un buen desarrollo de la red fluvial, de pequeño recorrido, formando cuencas muy estrechas y alargadas.

La rápida concentración de flujo, la fuerte pendiente y el sustrato geológico, son fuertes restricciones para que se desarrollen acuíferos ribereños importantes, aunque alguna agua subterránea, básicamente de interflujo y de almacenamiento de banco, puede encontrarse en los tercios inferiores de estas cuencas. Además, la rápida respuesta a las lluvias torrenciales ocasiona la formación de avenidas súbitas (*flash-floods*) que tienen el efecto secundario

de arrastrar grandes cantidades de sedimentos que no suelen depositarse, precisamente, en las partes llanas de las cuencas, sino en el mar.

Este proceso de aceleración sostenida de la erosión a lo largo de los cauces fluviales afecta, adicionalmente, el crecimiento de las terrazas fluviales y, con ello, reduce la posibilidad de que se mejore la cantidad de agua disponible, ya que no favorece el desarrollo de terrazas acumulativas y, por otro lado, provoca la pérdida constante del suelo agrícola. Éste es un proceso que solamente puede ser amortiguado con medidas ingenieras de mejoramiento que contribuyan a recuperar parte del suelo que se pierde por erosión.

La enérgica erosión dominante y el escaso desarrollo de las cuencas fluviales también es una limitante para la construcción de obras de retención del escurrimiento superficial y de recarga artificial de las aguas subterráneas. En el primer caso, como ya se ha dicho, porque el azolvamiento de las obras ingenieras del tipo de presas, diques y tranques ocurre con suma rapidez y, en el segundo, porque prácticamente no hay acuífero que recargar.

La fluctuación tan notable de caudales fluviales en el curso del año e, incluso, en períodos más cortos provoca, por otro lado, que las aguas de mar penetren bastante tierra adentro, sobre todo en marea alta, ocasionando la salinidad de las aguas terrestres. La dirección y velocidad de los vientos dominantes es una causa adicional de la salinización de los suelos y, en consecuencia, de las aguas terrestres, al facilitar la penetración de los aerosoles tierra adentro. Las mediciones realizadas por Molerio (1992) han mostrado penetración de los aerosoles de hasta 50 kilómetros tierra adentro y ninguna de las pequeñas islas tiene una distancia de costa a costa de esa magnitud, de manera que los aerosoles cubren completamente estos territorios.

El territorio se halla expuesto al paso de los huracanes tropicales pero también a sequías. Por ello, la vulnerabilidad a los huracanes es un tema a considerar detalladamente en la proyección y diseño constructivo de las obras civiles de abastecimiento de agua y saneamiento, a fin de minimizar los daños por el viento y las lluvias torrenciales y facilitar las medidas de mitigación reduciendo, al mínimo, los costos de la recuperación tras el paso de estos fenómenos extremos. También el vulcanismo y los terremotos constituyen una amenaza permanente

que complica extraordinariamente la gestión no solamente de los recursos hídricos, sino la administración adecuada de estos territorios.

La hidrología de las islas pequeñas y muy pequeñas islas del Golfo de México y El Caribe es sumamente compleja, en tanto se trata de ecosistemas tropicales sumamente frágiles y vulnerables. Sus recursos en aguas terrestres son siempre escasos y de difícil manejo debido a las siguientes razones:

- a. La disponibilidad de agua dulce depende de la abundancia y distribución de la lluvia y de la capacidad de almacenamiento subterráneo, generalmente muy limitada y absolutamente asociada al relieve y a la constitución geológica de las islas. De hecho, las lluvias tienen una distribución territorial muy variable. En Guadalupe, por ejemplo, las laderas occidentales de sus montañas reciben entre 2 mil 500 y 10 mil mm anuales, mientras que en el resto del país es de unos 1 mil 400 mm como promedio anual. Algunos valores menores se registran en Bahamas (con registros mínimos anuales del orden de los 600 mm) y en algunos sitios interiores de La Española (Haití y República Dominicana).
- b. El escurrimiento superficial suele estar débilmente organizado y, por lo común, sólo se presenta en islas montañosas que, por otra parte, son las únicas que exhiben alguna posibilidad de regulación artificial de la escorrentía. No obstante, en las pequeñas islas volcánicas, la mayor parte de las precipitaciones escapa al mar por la vía del escurrimiento superficial.
- c. La descarga de las aguas subterráneas se realiza mediante un precario equilibrio con las del mar, lo que provoca que la intrusión marina afecte muy directamente la cantidad y calidad de los recursos hidráulicos subterráneos. Éste es, sin lugar a dudas, el principal problema que limita el desarrollo y aprovechamiento de los recursos de agua subterránea en las islas y zonas costeras y será un problema que se incrementará en los próximos años como consecuencia del aumento del nivel del mar asociado al cambio climático.
- d. En virtud de la pequeña extensión de las islas, los problemas de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas suelen ser sumamente graves y costosos de resolver. La proximidad de las aguas subterráneas a la superficie y, por consiguiente, el pequeño espesor de la zona

Tabla 1. Variación en el recurso hídrico potencial en países del Caribe (Planos 2000 & 2001)

País	Recurso Hídrico Potencial Antes 1961-1990 (10 ⁶ m ³)	Recurso Hídrico Potencial 1961-1990 (10 ⁶ m ³)
Cuba	38150	30067
Haití	11000	9603
República Dominicana	22505	16559

no saturada hace que ésta no constituya barrera importante alguna para el movimiento de los contaminantes desde la superficie hacia los acuíferos. Y, del mismo modo, la localización de no pocos asentamientos en las partes altas de los valles y la descarga al suelo y a las corrientes superficiales de sus residuales, prácticamente sin tratar, constituye una amenaza continua al deterioro de la calidad de las aguas superficiales.

- e. La litología dominante es uno de los factores que mayor control ejerce sobre la distribución de los recursos hidráulicos superficiales y subterráneos en las pequeñas islas. De hecho, se reconocen dos litologías básicas en la conformación de la estructura geológica de las islas: una esencialmente carbonatada, donde tienen lugar procesos cárnicos y otra volcánica, donde dominan indistintamente los acuíferos granulares y fracturados. En las Antillas Mayores (Cuba, La Española, Puerto Rico y Jamaica) alternan ambos tipos pero dominan en ellas los acuíferos carbonatados cárnicos.
- f. Las economías de estas pequeñas islas –estados insulares muchísimos de ellos– suelen estar basadas en los servicios, fundamentalmente orientados al turismo, ente altísimo consumidor de agua de buena calidad y con una demanda siempre creciente, pero pocas veces bien administrada. Adicionalmente, las pequeñas islas presentan otros problemas demográficos y económicos debidos a la escasez de otros recursos naturales, como la baja disponibilidad de tierras de cultivo, de minerales y fuentes convencionales de energía;¹ el aislamiento de muchas de ellas y su exposición a los más destructivos eventos naturales como huracanes, tifones, terremotos, erupciones volcánicas y tsunamis contribuyen

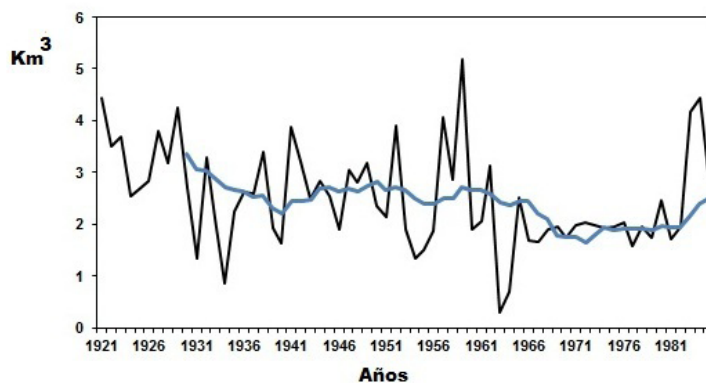
a dificultar la gestión de los recursos hidráulicos. La alta densidad de su población, que llega a ser cercana a los 800 hab/km² en Nueva Providencia, Bahamas, también conspira contra la disponibilidad de agua de buena calidad, ya que incrementa sostenidamente la demanda y el consiguiente peligro de contaminación.

- g. Los fenómenos de pluviosidad extrema asociados a las lluvias torrenciales y huracanadas constituyen uno de los elementos de mayor amenaza a los recursos naturales y a la sociedad, las sequías suelen tener efectos desastrosos sobre el abastecimiento de la población en estas regiones caracterizadas por una persistente escasez de agua.

La disponibilidad de recursos hídricos en la región también ha ido disminuyendo, en correspondencia con los cambios observados en el clima. Planos *et al.* (2000) y Planos y Rodríguez (2004) confirmaron este hecho para Cuba, República Dominicana y Haití, al comparar los recursos hídricos potenciales evaluados para estos países antes de la década de los 70 con un balance realizado para la etapa 1961-1990 (Tabla 1). En las últimas décadas, un comportamiento idéntico se refleja en el escurrimiento, con una tendencia negativa, en los casos de Cuba, Jamaica y República Dominicana.

La variabilidad y los cambios observados en el clima del Caribe a partir de la década de los 70, y la manera como se manifiestan en la disponibilidad de agua, fue corroborado por Shiklomanov (1998), quien analizó la dinámica de la disponibilidad de agua en Mesoamérica y el Caribe desde 1921 a 1985, encontrando una tendencia negativa partir de la década de los 60, que además es una serie en la que la homogeneidad estadística se rompe alrededor del año 70 (Fig. 2). En un reporte elaborado acerca del balance hídrico potencial, estimado por Llanes *et al.* (2012) para la CEPAL, los mencionados investigadores analizan la precipitación anual en el período 1931-2000, que

1. Casos como los de Trinidad y Tobago, con una abundante disponibilidad de petróleo y gas, constituyen una notable excepción.

Figura 2. Dinámica de la disponibilidad de agua en Mesoamérica y El Caribe**Tabla 2.** Balance Hídrico Potencial 1961-1990

Región	Área km ²	T (°C)	P (mm)	Eo (mm)	E (mm)	Q (km ³)
Caribe	4160000	26.8	1880	1633	1208	2797.3
Cuba	184000	24.9	1326	1540	989	62.0
Belice	22500	27.1	2368	1677	1337	23.2
Jamaica	45000	28.3	1868	1751	1252	27.7
La Española	100000	24.8	1469	1534	1042	42.7
Antillas menores	360000	27.1	2368	1677	1337	371.0

T: temperatura(°C); P: precipitación (mm); Eo: evaporación potencial (mm); E: evaporación (mm); Q: volumen escurrimiento (mm).

Fuente: Llanes *et al.* (2012).

muestra una tendencia a la disminución en muchas áreas de la Región del Caribe (Tabla 2). La Fig. 3 representa el predominio de la tendencia decreciente en la precipitación anual en prácticamente toda el área.

3. Agua y salud ambiental

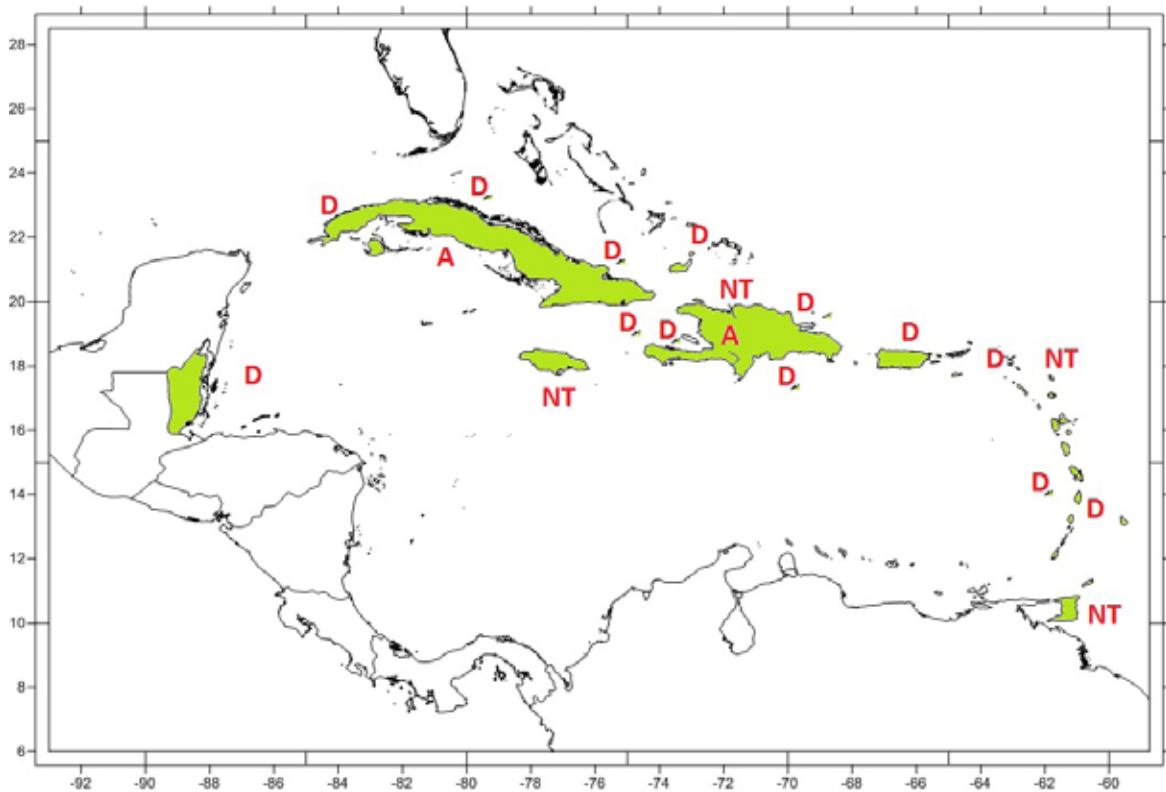
En los dos últimos decenios, el acceso a agua potable y saneamiento básico aumentó en América Latina y el Caribe, principalmente en las zonas urbanas. El acceso a condiciones de saneamiento básico fue superior también en las zonas urbanas. Entre 2002 y 2010, la proporción de la población urbana beneficiada por los servicios adecuados de recolección de desechos sólidos superó al crecimiento poblacional urbano; sin embargo, estos logros no fueron uniformes en todos los países o dentro de un mismo país. También se avanzó en cuanto a la legislación específica con directrices para políticas de agua y saneamiento sustentadas en el diagnóstico de la prestación de los servicios en las zonas urbanas. Se destaca el reto de atender a los barrios marginales con viviendas de

baja calidad, la falta de acceso a servicios básicos y de tratamiento de las aguas servidas, y la vigilancia de la contaminación química de las fuentes de abastecimiento. La descarga de residuos urbanos sin tratar en cuencas y manantiales es un tema emergente en varios países. La descarga de residuos urbanos sin tratar en cuencas y manantiales es un tema emergente en varios países (OPS, 2013).

La mitad de la humanidad vive en la actualidad en ciudades y, dentro de dos décadas, casi 60% de la población mundial habitará en núcleos urbanos. El crecimiento urbano es mayor en los países en desarrollo, donde las ciudades ganan un promedio de cinco millones de habitantes cada mes. La explosión del crecimiento urbano conlleva unos desafíos sin precedentes, entre los cuales la falta de suministro de agua y saneamiento es el más urgente y lesivo (OPS, 2010).

La sobreexplotación de los recursos hídricos es cada vez mayor, de ahí que con la rápida urbanización, las ciudades se enfrentan a una creciente demanda de servicios de agua y saneamiento. Según Naciones Unidas (2010), en América Latina 77% de la población

Figura 3. Tendencia de la precipitación anual en la Región de El Caribe para el período 1931-2000



D: Decreciente; A: Creciente; NT, Tendencia No Significativa (según Llanes *et al.*, 2012).

es urbana y las tasas de urbanización siguen aumentando, lo que afecta el acceso de agua potable segura y el saneamiento en algunos países. Por otra parte, la contaminación de los ríos y mares es un problema crucial que afecta a las ciudades costeras donde vive más de 60% de la población de esta región.

Clasificación de las enfermedades relacionadas con el agua

Actualmente, de los diversos términos de enfermedades asociadas con el agua y el saneamiento, el de las enfermedades relacionadas con el agua se propone como el más comprehensivo. Estas enfermedades se definen como cualquier efecto adverso significativo o de amplia dispersión sobre la salud humana, tales como, discapacidad, enfermedad o dolencia causada directa o indirectamente por la condición o cambios en la cantidad y calidad del agua. Existen tres componentes esenciales para la clasificación: los

patógenos y otros agentes involucrados con la enfermedad relacionada con el agua, el tipo de exposición al agua y el nivel de probabilidad de la causa por el agua. Los factores del hospedero, tales como el estado nutricional, son importantes en términos de la prioridad y detalle requeridos para los sistemas de vigilancia en países con altos niveles de malnutrición, inmunodeficiencias o mortalidad significativa de patógenos transmitidos por el agua (Stanwell-Smith, 2009).

Situación en Cuba de enfermedades relacionadas con el agua. Estadísticas en salud

En Cuba, la esperanza de vida al nacer es elevada (77,97 años); la incidencia y la mortalidad por enfermedades transmisibles es baja y la tasa de mortalidad infantil (4,5 por mil nacidos vivos), muy baja. Se han eliminado 15 enfermedades infecciosas y otras ocho no constituyen problemas de salud porque sus

tasas de incidencia son inferiores a 0,1 por 100 mil habitantes. En la protección y mejora del medio ambiente participan todos los sectores del Estado y de la sociedad, entre ellos el sector salud, mediante programas integrales que abarcan el agua, la protección y el cuidado de mares, suelos y superficies boscosas, el aire, el ruido, los desechos líquidos y sólidos (en especial biológicos), y la vigilancia sanitaria (OPS, 2012).

Durante el período 2006-2010 se han producido mejoras en la situación de salud de la población cubana. Los rasgos fundamentales consisten en el ritmo acelerado del envejecimiento de la población, los bajos niveles de fecundidad y reemplazo poblacional, la presencia de bajas tasas de mortalidad en edades tempranas y su desplazamiento hacia las edades más avanzadas, y una elevada esperanza de vida. Se han eliminado o controlado enfermedades transmisibles que ya no constituyen problemas de salud, aunque persisten condiciones ambientales y estilos de vida riesgosos para su introducción y extensión. El programa de inmunización protege las infecciones respiratorias y las enfermedades diarreicas agudas constituyen las primeras causas de consulta médica (OPS, 2012).

La población cubana está compuesta por 11 millones 210 mil 64 habitantes, distribuidos en 15 provincias y 168 municipios; la relación de masculinidad es de 995 hombres por cada mil mujeres; el porcentaje de urbanización es de 76.8% y 18.3% de las personas tiene 60 años y más de edad (Anuario Estadístico, 2013).

En el año 2013 se reportan 92 mil 270 defunciones, 2 mil 898 más que en 2012. El aumento de la mortalidad ocurre, fundamentalmente, en la población de 65 años y más. La tasa de mortalidad general es de 8.3 defunciones por mil habitantes, superior en 4.8% a la de 2012; la tasa ajustada por edad se mantiene en 4.5. El mayor incremento de muertes del quinquenio 2009-2013 ocurre entre 2009 y 2010: 4 mil 125 defunciones más; luego, entre 2010 y 2011 decrece en 4 mil 21 fallecidos. A continuación, la cifra de defunciones aumenta en 2 mil 328 durante 2012 y 2 mil 898 en 2013; esto último es 30% menor que el máximo incremento registrado en el quinquenio antes citado. Tales fluctuaciones se corresponden con la variación de la mortalidad, relacionada, además, con el perfil demográfico, de enfermedad y muerte del país. Según clasificación, en tres grandes grupos de causas de muerte, la tasa de mortalidad por enfermedades

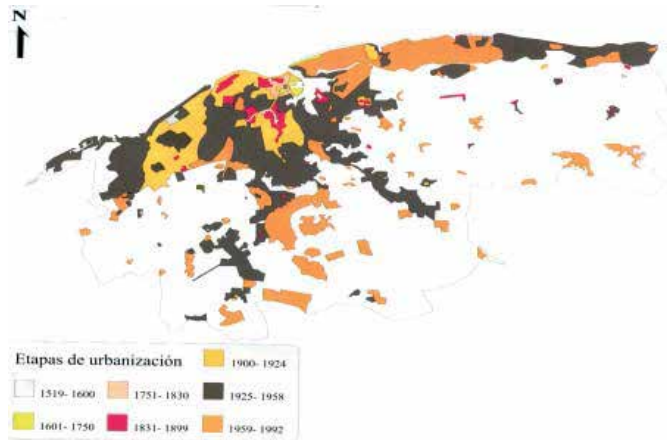
crónicas no transmisibles es la más elevada: 680.7 defunciones por cada 100 mil habitantes, seguido de la mortalidad por enfermedades transmisibles, causas de muerte materna, perinatal y nutricional (72.0) y la tasa de mortalidad por causas externas (66.8). Las tres tasas aumentan respecto de 2012 (Dirección de Registros Médicos y Estadística en Salud, 2013).

El programa de inmunización protege contra 13 enfermedades con una cobertura de vacunación prácticamente completa en el menor de un año. Catorce enfermedades infecciosas y otras nueve no constituyen problemas de salud por tener tasas de incidencia menor que 0.1 por 100 mil habitantes. Las enfermedades diarreicas agudas se incrementaron al inicio y final del verano. Se enfrentaron eventos ocasionados por *Vibrio cholerae* O1 biotipo El Tor, prevaleciendo el serotipo Ogawa, los cuales fueron controlados. Por otra parte, se desarrollan acciones coordinadas dirigidas a reducir el índice de infestación por *Aedes aegypti*, el cual se reduce en 17% respecto de 2012 (Anuario Estadístico, 2013).

La Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS) en su Informe Anual 2013 presenta todas las Alertas y Actualizaciones Epidemiológicas publicadas en el año en relación con eventos de salud pública que ocurrieron en la Región de las Américas y en otras partes del mundo, y que tuvieron de hecho o pudieron haber tenido repercusiones en la salud pública internacional de la región y con respecto a los brotes de cólera en la región recomienda a los Estados miembros que pongan en marcha sus planes de preparación y respuesta y fortalezcan sus sistemas de vigilancia del cólera. También, exhorta a los países a acelerar el trabajo para mejorar la calidad y condiciones del agua y el saneamiento (OPS/OMS, 2013).

Un estudio realizado de la evaluación de la calidad del agua intradomiciliaria en poblaciones urbanas de La Habana Vieja y su posible relación con la morbilidad por enfermedades de transmisión hídrica entre noviembre de 2010 y diciembre de 2012 demuestra que en 57,6% de las viviendas el agua no es tratada en el hogar; que 34,6% la hierve; 6,2% la filtra y 1,2% la clora. Un 98,8% de la población tiene un servicio de abastecimiento discontinuo. El estudio microbiológico encuentra que 51,8% de las muestras presentó coliformes termotolerantes y 66% de viviendas, valores de cloro inferiores al límite establecido en la norma de agua potable. El 63,6% de las

Figura 4. Desarrollo urbano de La Habana



personas que presentaron cuadros diarreicos en los últimos 30 días, no le realizaba ningún tratamiento al agua de consumo. Se demuestra una asociación estadísticamente significativa entre el tratamiento del agua y la ocurrencia de eventos diarreicos en los últimos 30 días (Concepción *et al.*, 2013)

Cólera en Cuba

En Cuba, en julio de 2012 se notificaron los primeros casos de un brote de cólera en la isla. El número acumulado de casos confirmados de la enfermedad en ese año fue de alrededor de 500. No se registraron más defunciones que las tres informadas en la Alerta Epidemiológica del 31 de julio de 2012. Tras el paso del Huracán *Sandy* por las provincias orientales del país en octubre de 2012, se registraron casos aislados de cólera en las provincias de Santiago de Cuba, Camagüey y Guantánamo. En total hubo 47 casos confirmados en las tres provincias. A partir del 15 de diciembre de 2012 no se detectaron nuevos casos. Entre las medidas de control que aplicaron las autoridades nacionales se aseguró el reforzamiento de las medidas higiénicas y de saneamiento ambiental; asimismo, se aseguró el abastecimiento de agua potable, el control estricto de alimentos y la educación sanitaria de la población, con hincapié en la higiene de las manos, el consumo de alimentos seguros y la ingestión de agua potable (OPS/OMS, 2013).

Después de haberse detectado cólera en la localidad de Manzanillo en 2012, que notificó 417 casos y tres defunciones, el Ministerio de Salud de Cuba registró otros dos brotes: el ya mencionado después del

Huracán *Sandy*, en octubre de 2012, y otro a inicios de 2013 en la Provincia de La Habana, con 51 casos confirmados. En 2013, el Centro Nacional de Enlace para el Reglamento Sanitario Internacional (CNE del RSI, en adelante CNE) notificó que a partir del 6 de enero había habido un aumento del número de casos de enfermedad diarreica aguda en el municipio de Cerro y en otros municipios de La Habana. Se tomaron muestras de los casos sospechosos de cólera, que fueron analizadas por el Instituto de Medicina Tropical Pedro Kourí. Hasta el 14 de enero de 2013, se había confirmado un total de 51 casos de cólera; todos fueron caracterizados como *Vibrio cholerae* O1 El Tor enterotoxigénico serotipo Ogawa. El brote en La Habana ocurrió por descuido en la manipulación de alimentos. A raíz de esa situación, las autoridades cubanas reforzaron las tareas de educación sanitaria a la población, con énfasis en la higiene de las manos, el consumo de alimentos seguros y la ingestión de agua potable. Simultáneamente continuaron tomándose medidas para asegurar el abastecimiento de agua potable y el control estricto de alimentos. Se mantuvo también la vigilancia clínico-epidemiológica activa y estricta de la enfermedad diarreica aguda y todo caso detectado se trató como sospechoso de cólera.

En el último Boletín de Alerta de la Organización Panamericana de la Salud, el CEN reportó sobre Cuba que entre la semana epidemiológica (SE) 35 de 2013 y la SE 8 de 2014 se investigaron casos sospechosos, de los cuales se confirmaron 23 casos adicionales de cólera. Con este dato, el total de casos de cólera confirmados en Cuba desde el inicio del brote en la SE 27 de 2012 a la SE 8 del 2014 asciende a 701, incluyendo tres defunciones. Las autoridades nacionales mantienen activado el sistema de vigilancia clínico-epidemiológica y regularmente investigan casos sospechosos de cólera. Se han intensificado las medidas higiénicas, especialmente las relacionadas con el lavado de las manos, la cloración del agua y la limpieza, así como la manipulación y cocción adecuada de los alimentos (OPS/OMS, 2014).

Los desafíos relacionados con el agua aumentarán significativamente en los próximos años. El continuo crecimiento de la población y el incremento de los ingresos conllevarán un enorme aumento del consumo de agua y de la generación de residuos. La población de las ciudades de los países en desarrollo crecerá de forma alarmante, lo que generará

un aumento de la demanda muy por encima de las capacidades de los servicios y de la infraestructura de abastecimiento y saneamiento de agua, ya hoy día insuficientes. Según el Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo, en 2050 al menos una de cada cuatro personas vivirá en un país con escasez crónica o recurrente de agua (OMS, 2015).

4. Características hidrológicas de La Habana y de sus fuentes de abasto de agua

Las aguas terrestres en Cuba tienen su origen en las lluvias. Las aguas superficiales y subterráneas que participan del ciclo urbano confrontan, sin embargo, idéntica problemática en su explotación, tales como fugas en las conductoras, pérdida de calidad del agua, disminución de los recursos disponibles, incremento de la huella hídrica. Estos problemas se acrecientan en lo tocante al saneamiento, ya que la disposición y recolección de las aguas residuales urbanas se realiza a través de las aún insuficientes redes de alcantarillado que obligan al empleo de letrinas sanitarias y fosas sépticas, que acompañan a sistemas de tratamiento mediante lagunas de estabilización y plantas compactas (y tradicionales). El drenaje pluvial se evacúa mediante la canalización de ríos, arroyos y corrientes de aguas superficiales en general, que circulan por las zonas urbanas, así como la puesta en funcionamiento de colectores de drenaje, con las dificultades propias que éstos presentan y que son comunes en las zonas urbanas.

La Habana, capital de la República de Cuba, con 2 millones 168 mil 255 habitantes, es una ciudad que ha experimentado desde su fundación en 1516 problemas persistentes de abastecimiento de agua y de drenaje urbano que se han agravado por la deformación estructural sistémica de su planeamiento y la desproporcionada concentración de la población en las últimas décadas. Ya en 1545 en carta al Rey de España, el licenciado Joanes de Avila hacía constar que *“en esta villa de la Avana ay gran necesidad de traerse el agua por los muchos navíos que a ella ocurren...”*²

2. Carta del licenciado Joanes de Ávila al Rey, Mayo 31, 1545 (Eguren, 1986).

Dos años más tarde, en Cédula Real de Febrero 11 de 1547 decía Su Majestad: *“os mando que luego concerten con la persona o personas que os pareciese os traigan la dicha agua a la dicha Villa...”*³ De hecho, la ciudad se construyó alrededor de algunos humedales y manantiales que fueron desecadas, como donde se encuentra hoy la Plaza de la Catedral y la toponimia urbana da fe de un drenaje antiguo ya inexistente, como las calles Monte, Lagunas, Manglar, Ciénaga, Cárdenas –antes llamada del Basurero–, El Chorro y Zanja.

La Habana (Figura 4) es una ciudad costera que, en su asentamiento actual –pues se ha movido al menos dos veces hasta la posición que hoy ocupa entre 1515 y 1516– ha crecido alrededor de una bahía de bolsa a la que desembocan tres ríos de cuencas muy pequeñas (Luyanó, Martín Pérez y Arroyo Tadeo) que sólo por poco tiempo alrededor de la época de su fundación constituyeron fuentes de abasto de agua potable limitadas a comunidades muy reducidas que también se sirvieron de aguas subterráneas como fueron los casos de la Cisterna de la Ciénaga, situada en la actual Plaza de la Catedral, y el Pozo de la Anoria, muy cerca de donde hoy se levanta el Parque de la Fraternidad.

En general, la ciudad se asentó y creció en parte a costa del mar pero básicamente se extendió tierra adentro sobre rocas de muy baja productividad acuífera, lo que obligó a buscar fuentes de abasto seguras fuera del perímetro urbano casi desde su fundación. La Cisterna de la Ciénaga, el pozo de la Anoria y aun la Cisterna del Jagüey, al pie de la Loma de La Cabaña, en la orilla oriental del canal de la bahía, resultaron insuficientes. Pero la población primitiva de la ciudad tenía a unos 10 kilómetros al oeste las aguas del Río Almendares que abasteció el segundo asentamiento de la ciudad cuando ésta se mudó de la costa sur a la norte. Así, durante cierto tiempo las aguas fueron traídas en barriles por mar o por tierra desde el entonces llamado Pueblo Viejo a la ciudad asentada a orillas de la bahía, protegida de los vientos y tormentas tropicales y capaz de albergar las decenas de barcos que se reunían para emprender, juntos, el viaje de regreso a España desde 1540 en que quedó establecido el sistema de las flotas.

La sistemática importación de las aguas de abasto alcanzó puntos notables en el propio siglo XVI cuando en 1566 el maestro Calona comenzó la

3. Cédula Real de Febrero 11 de 1547.

construcción de la Zanja Real (concluida en 1592) que, con una capacidad de 70 mil m³/día traía las aguas del Río Almendares a 11 kilómetros al oeste hasta un punto cercano a la actual Plaza de la Catedral (Figuras 5 y 6); más tarde se introdujeron algunas mejoras –pero menos de las esperadas– con la construcción del Acueducto de Fernando VII (Fig. 7) y, a fines del siglo XIX, con la construcción del Canal de Vento

Figura 5. Mapa del recorrido de la Zanja Real, realizado por Don José María de la Torre en el año 1857, donde señala los ramales que llevaban las aguas a “El Chorro” y a “El Muelle de Luz”.

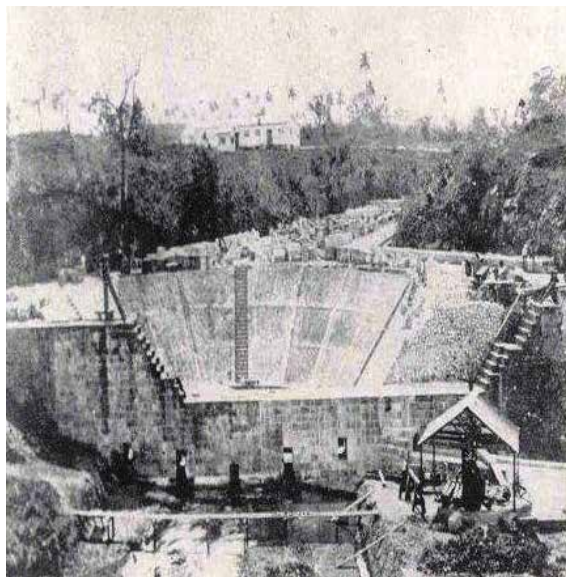


Figura 6. Lápida en el Callejón de El Chorro, en una esquina de la Plaza de La Catedral de La Habana que indica el sitio final a donde llegaban las aguas del Río Almendares para el abasto a la ciudad destacando el nombre del gobernador, Maese de Campo Juan de Tejeda, y el año 1592, en que se concluyeron las obras.



Figura 7. Fachada principal del Acueducto de Fernando VII (foto del año 1926)



Figura 8. Construcción de la Taza de Vento**Figura 9.** Taza de Vento en la actualidad

(Figs. 8 y 9) se logró un eficiente sistema de abasto que mejoró ostensiblemente y hasta la actualidad, el sistema de aprovisionamiento de aguas.

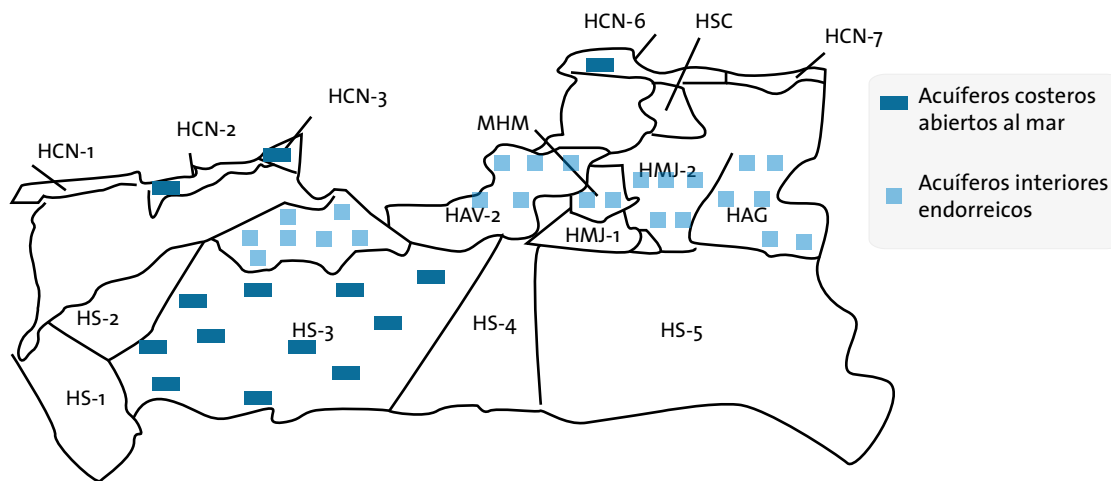
Esa práctica no cesó y la huella hídrica de la ciudad hoy requiere del aporte de un sistema de acuíferos que ocupan un área cercana a los 2 mil 235 km². Se trata de varias cuencas subterráneas a decenas de kilómetros de la ciudad capital, como las de Ariguanabo, Sur, Jaruco-Aguacate, Jaimanitas-Santa Ana, además de la de Vento que, en no poca medida, han comprometido el desarrollo periférico en otros campos –como el industrial y agropecuario– por la subordinación de sus recursos hidráulicos al interés y necesidad de dar cobertura de agua potable a la ciudad capital.

Todo el sistema de abasto de agua a la ciudad está centralizado en grandes sistemas de acueductos que aprovechan el agua subterránea de acuíferos cársicos muy potentes, y el este de la ciudad ha recibido el aporte de sistemas de abastecimiento de aguas superficiales a partir de un complejo de embalses (La Coca-La Zarza y Bacuranao) incorporados a la provisión de agua en la década de los 70 del pasado siglo. En no poca medida, este incremento sistemático de la huella hídrica está asociado a un deficiente estado de las redes y a su falta de mantenimiento sistemático durante décadas.

Todas las cuencas subterráneas que abastecen a la ciudad son de naturaleza cársica. El acentuado desarrollo de la carsificación ha sido tanto un privilegio como una desventaja para la gestión eficiente de los recursos hidráulicos subterráneos. Garantizar el abastecimiento de agua a la ciudad ha llevado implícito el desarrollo sistemático de herramientas de gestión integrada de acuíferos cársicos en el Trópico Húmedo como un fenómeno que no tenía antecedentes en otras regiones, combinando el manejo de cuencas interiores cerradas y costeras, en áreas rurales y parcialmente urbanizadas; estas últimas acompañadas de un sistemático proceso de desarrollo de industrias de todo tipo, altamente contaminantes, incluyendo la azucarera y las áreas rurales con las presiones derivadas de una variada gama de actuaciones agropecuarias que demandó la construcción de centenares de pozos para abastos locales y luego sistemas de riego que, con mayor o menor eficiencia, aprovecharon, explotaron y sobreexplotaron los recursos hidráulicos de una vasta zona que rodea la ciudad capital. La Fig.10 muestra los sistemas acuíferos que abastecen la capital del país.

Las cuencas interiores (Ariguanabo, Vento, Mampostón-Jaruco y Aguacate son poljes cársicos con diferentes fases de profundización vertical y rodeados de rocas impermeables, de manera que

Figura 10. El mapa (fuera de escala) representa los sistemas acuíferos que a la fecha abastecen a La Habana



en ellos se reconocen diferentes niveles de cavernamiento. Constituyen cuencas cerradas en el sentido geológico; es decir, son cubetas de deposición donde los paquetes de rocas carbonatadas carsificadas alcanzan hasta los 350 metros de espesor en la cuenca de Vento.

Tales cuencas cerradas carecen prácticamente de escurrimiento superficial, que depende básicamente del estadio de evolución hidrológica de estos poljes. En consecuencia, descargan por puntos únicos superficiales pero se entrelazan en una compleja interrelación subterránea. Esta situación general lleva implícita una estratificación en la edad de las aguas (su tiempo de residencia) que obliga a considerar muy seriamente el régimen de explotación de las mismas a fin de garantizar la sostenibilidad de su aprovechamiento.

En el área urbana de la ciudad, las inundaciones son un fenómeno típico de las ciudades por razón del elevado coeficiente de escurrimiento y la reducción de la infiltración, pero en el caso de La Habana se han acentuado por la violación de ciertas ordenanzas municipales, las construcciones/deconstrucciones de edificaciones y una elevada carga de sedimentos asociados que colapsan las redes.

La sistemática obstrucción o desvío de las líneas de escurrimiento superficial han creado serios problemas de hidrología urbana que se han agrava-

do por una absoluta falta de cuidado en el bloqueo de las alcantarillas y drenaje pluvial con basuras y escombros de todo tipo casi inutilizando las redes y contribuyendo a que las penetraciones del mar y las inundaciones costeras se hayan convertido en un molesto problema común –y sistemáticamente agravado– para los ciudadanos, surgencias y elevación del nivel del mar aparte.

En fin, se trata de un sistema hidrológico costero, que recibe aguas importadas y las drena, bajo un tratamiento diferenciado, al mar. Las aguas no se recirculan para reabastecer los acuíferos fuente y el balance hídrico final evidentemente no es sostenible.

5. El sistema de agua potable

Acceso al agua potable en Cuba

Actualmente, 95,5% de la población tiene acceso a agua potable, tanto en el sector urbano como en el rural. En la actualidad, el acceso al agua en Cuba se comporta de la siguiente manera (Cubadebate, 2013; Cubahora, 2014):

- Conexión intradomiciliaria: 8 millones 401 mil 868 habitantes, 75,0%
- Abasto por camiones cisterna: 525 mil 696 habitantes, 4,7%

- Fácil acceso a 200-300 m: 1 millón 310 mil 014 habitantes, 11.7%
- Población dispersa: 963 mil 200 habitantes, 8.6%.

Abasto:

- Estaciones de bombeo (EB): 3 mil 729 para abasto a la población
- Del INRH: 2 mil 592 EB
- Redes y conductoras: 22 mil 541 km
- Presas: 242 para abasto 77
- Camiones cisterna: 1 mil 51 en todos los organismos
- Del INRH: 359 promedio trabajando 110
- Otros organismos: 692

Saneamiento:

- Con alcantarillado: 3 millones 980 mil 360 habitantes
- Con 293 sistemas de lagunas de estabilización, 534 tanques sépticos y 10 plantas de tratamiento de residuales
- Con fosas y letrinas: 6 millones 257 mil 228 habitantes en 869 mil 829 fosas
- Del volumen de residual total conducido se trata sólo 34.6%
- Redes de alcantarillado: 5 mil 310 km
- Limpieza de ríos y zanjas: 3 mil 300 km
- Carros limpia fosas: 224
- Carros alta presión: 29
- Obstrucciones: 150 mil al año
- Limpieza de fosas: 323 mil al año

A partir de esta infraestructura y cumpliendo con el cronograma de implementación de la Política Nacional de Agua, se trabaja con énfasis en el mejoramiento de los indicadores que evalúan la calidad del servicio de abasto de agua, priorizando los que aseguren la sostenibilidad:

- Mantener una elevada cobertura de acceso al agua potable.
- Incrementar el control de la cobertura de hidro-metría.

Los problemas fundamentales del acceso al agua potable radican en las pérdidas en la conducción y distribución del recurso, el envejecimiento y mal estado de los sistemas de abasto de agua y la necesidad de rehabilitar sistemas, fuentes y plantas potabilizadoras. Un gran porcentaje del agua total disponi-

ble en el país es empleado en el sector de la agricultura (en el que se derrocha en grandes proporciones) y en el industrial, y sólo 20% es empleado en el servicio de acueductos para los sectores residenciales y estatales.

La población recibe agua por tres vías fundamentales: 1) por conexión domiciliaria, 2) por vía pública a través de camiones cisterna, y 3) por el fácil acceso, cuando es a nivel comunitario con cercanía a las viviendas, mediante una llave o tanque, en el caso de zonas donde no existen redes o éstas tienen un marcado deterioro. Según información de Cubahora (2014), las empresas del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) sirven a 8 millones 240 mil personas, 900 mil son abastecidas al Ministerio de la Agricultura y AZCUBA, cerca de otro millón por camiones cisterna y 800 mil acceden al agua cargándola a una distancia de hasta 300 metros. A pesar de la alta cobertura de agua hay 200 mil personas en zonas urbanas sin acceso adecuado y en el sector rural 400 mil.

La Habana es una ciudad con dos millones de habitantes (ver cifra del último censo). El sistema de abastecimiento de agua potable hoy está constituido por cuatro grupos de fuentes con una estructura que permite servir a 99.7% de la población mediante servicios de acueducto, lo que implica un tratamiento de potabilización adecuado (99.1%). Por insuficiencia o mal estado de las redes de distribución, unas 40 mil personas reciben el servicio a través de carros cisterna. El tiempo de servicio es de 10-12 horas diarias como promedio –en días alternos en la mayor parte de la ciudad– y con insuficiente presión, lo que denota un servicio deficiente.

El abastecimiento de agua a la capital se lleva a cabo a través de unos 4 mil km de conductoras y redes primarias algunas con más de 100 años de explotación, como el Acueducto Albear. Las conductoras desde las fuentes de abasto a las redes tienen una longitud total de más de 330 km. Solamente 18,6% del aporte de la Cuenca de Vento alimenta el sistema de abasto del Acueducto Albear por gravedad, sin costo energético alguno. En el resto de los sistemas se requiere de bombeo de grandes caudales algunos como los de la fuente El Gato (en la cuenca Jaruco), situados a poco más de 50 km de la capital.

La característica común de las fuentes subterráneas de abasto a la ciudad es que en todos los casos se trata de acuíferos cársicos libres (no confinados) in-

teriores y uno de ellos (Cuenca Sur) es costero. Ello le confiere a todo el sistema de abastecimiento una elevada vulnerabilidad a la contaminación de diferentes fuentes: industriales, domésticas, agropecuarias.

6. El sistema de alcantarillado

El sistema de alcantarillado de la ciudad tiene en su parte central casi 100 años de operación, pues fue concluido en 1915 y está constituido actualmente por 1 mil 567 km de tubería –incluyendo el alcantarillado central y los sistemas locales de la periferia–, dos plantas de tratamiento, 23 estaciones de bombeo de aguas residuales y 50 lagunas de estabilización (Tabla 3). Dos más se encuentran en construcción en las márgenes del Río Luyanó, una de ellas para tratar las aguas que drenan las cuencas que descargan a la Bahía de La Habana.

El sistema central de alcantarillado hoy presta servicios a casi la mitad de la población de la ciudad; sin embargo fue construido para una población máxima de 600 mil habitantes, de manera que su capacidad ha sido sobrepasada desde hace varias décadas, razón por la cual se producen descargas y rebosos a los arroyos, ríos, drenajes pluviales y al litoral.

La red colectora central alcanza los 1 mil 130 km de longitud, por supuesto dividida en redes, subcolectores y colectores principales que conducen las aguas negras hasta un tratamiento físico-mecánico antes de su disposición al mar, mediante un emisario sumergido a 10.7 m de profundidad a 147 m de distancia de la costa: el Túnel del Alcantarillado de La Habana, denominado popularmente Emisario de Playa del Chivo, otra de las Siete Maravillas de la ingeniería cubana, construido entre mayo de 1911 y abril de 1912 con una longitud de 375 metros excavado en las rocas bajo la bahía entre el antiguo Muelle de Caballería y Casablanca, al lado este de la bahía. El Túnel drena poco más de 110 Hm³/año de residuales por gravedad hasta el sistema de bombeo, situado en el lado oriental.

Existen obviamente sistemas locales más pequeños y, en la periferia de la ciudad, un volumen considerable de residuales se trata en tanques sépticos y fosas disponiéndose mediante pozos de infiltración o mediante el sistema de tratamiento de la planta del Río Quibú, con una capacidad de diseño de

unos 300 litros por segundo y que aún se encuentra explotada sólo a 30% de su capacidad.

La disposición y recolección de las aguas residuales urbanas se realiza a través de redes de alcantarillado, aún insuficiente, apoyadas por el empleo de letrinas sanitarias, un gran número de fosas sépticas, que acompañan a sistemas de tratamiento mediante lagunas de estabilización y plantas compactas (y tradicionales). El drenaje pluvial se basa en la canalización de ríos, arroyos y corrientes de aguas superficiales en general, que circulan por las zonas urbanas, así como la puesta en funcionamiento de colectores de drenaje.

7. Problemas hidrológicos y técnico-económicos asociados

Problemas hidrológicos

En el caso de las cuencas de abasto, los problemas hidrológicos más importantes son los siguientes:

- El sostenido incremento de la explotación de las aguas subterráneas en las cuencas que abastecen la ciudad y la extracción de aguas con elevados tiempos de residencia en el acuífero, de manera que los recursos se minan y una parte de ellos deja de ser renovable.
- El avance de la intrusión marina en los acuíferos costeros que sirven de fuente de abasto a la ciudad, eventualmente agravado por el ascenso sistemático del nivel del mar como consecuencia del cambio climático.
- Las presiones derivadas de la urbanización de algunas cuencas y las migraciones internas.

En el caso del sistema hidrológico de la ciudad *per se*, la ciudad enfrenta un conjunto de problemas ec hidrológicos de especial importancia, como son (Molerio, 2012):

- Asentamientos diferenciales y subsidencia asociada al colapso de cavernas.
- Inundaciones debidas tanto a lluvias intensas como por penetraciones del mar y surgencias de tormenta que ocurren simultáneamente bajo determinadas circunstancias sinópticas.
- Deslizamientos y desprendimientos de tierra.
- Desarrollo de enfermedades de transmisión.

- Arrastre de sedimentos y azolvamiento del sistema de drenaje pluvial y el alcantarillado.
- Empantanamientos en áreas periféricas.

Problemas técnico-económicos

Los problemas más importantes de este tipo, que limitan la gestión eficiente del recurso agua para la ciudad de La Habana, son los siguientes:

- Las pérdidas por conducción (conductoras, redes de acueductos e intradomiciliarias) que según Kalaff (2013) alcanzan 58% del caudal entregado anualmente.
- El reúso de las aguas.
- La sobreexplotación de las aguas subterráneas.
- La pérdida de hiperanualidad del complejo de embalses del este de la ciudad, además de su azolvamiento y largo tiempo de explotación.



Formando parte de las obras que se realizan en el casco histórico de La Habana, capital de Cuba, e insertada en la armonía de centenarias y modernas construcciones, se encuentra ésta que masks la cámara de rejas subterránea, destinada a evitar la entrada de objetos y arenas al sifón que a través de un túnel atraviesa la bahía, de un lado a otro, y, mediante bombas, entrega los drains del sewer de la ciudad en el lugar donde se realiza su disposición final. Fuente: Juan de las Cuevas y colaboradores. Publicación de la Oficina del Historiador de la Ciudad de La Habana, Cuba, año 2012, pág. 38-56
Fotografía: Cortesía de Lissette Solorzano

8. Conclusiones y recomendaciones

Las principales amenazas sobre el régimen y la calidad de las aguas terrestres en los territorios insulares del Golfo de México y El Caribe están asociadas al ascenso del nivel del mar y son las siguientes:

- Avance de la intrusión marina natural tierra adentro, de la interface agua dulce/agua salada y de la mineralización secundaria de las aguas.
- Redistribución de las zonas de descarga de las aguas superficiales (desembocadura) y subterráneas.
- Inundación de las zonas acuíferas costeras bajas y la inversión del gradiente hidráulico.
- Mayor penetración de los aerosoles tierra adentro, contribuyendo a la salinización de los suelos en las partes altas de la cuenca y, en consecuencia, a la incorporación de fuentes externas de salinidad a las aguas superficiales y subterráneas.
- Mayor presión sobre las cuencas subterráneas interiores, algunas de las cuales –desde hace más de 15 años– muestran signos evidentes de drenar aguas que no pertenecen al ciclo hidrológico actual.
- Mayor presión sobre las cuencas superficiales que verán sus áreas reducidas y expuestas a mayor peligro de pérdida de calidad y alteraciones que deben producirse en el régimen hidrológico como consecuencia de los cambios en los niveles de base locales y regionales.
- Deterioro y consiguiente abandono de fuentes de abasto de agua subterránea próximas al litoral.
- Desplazamiento de los focos de contaminación hacia otros sitios de las cuencas superficiales y subterráneas, lo que puede empeorar la calidad final de las aguas.

Brown (2006) ha resumido los siguientes efectos del cambio climático promovidos por el calentamiento global:

1. Las costas del planeta sufrirán el azote de tormentas e inundaciones cada vez más fuertes, y la inundación de las zonas costeras desplazará a millones de personas.
2. La intrusión de agua salada debido a la subida de los niveles del mar repercutirá en la calidad y disponibilidad de agua dulce, empeorando la creciente crisis del agua en el mundo.
3. Como el calentamiento altera los bosques, las marismas y las tierras de pastoreo, el daño al ecosistema de la Tierra será de largo alcance e irreversible: cerca de 25% de los mamíferos y 12% de las aves podrían extinguirse en los próximos decenios.
4. El desplazamiento de las tierras agrícolas y el lento avance de la desertificación inhabilitará muchas zonas para cultivos y pastoreo.
5. El calentamiento y el aumento de la humedad pueden acelerar la propagación de nuevos tipos de enfermedades infecciosas como el paludismo y la fiebre amarilla.

En general, los procesos asociados al cambio climático representan una importante amenaza para la vida y los medios de sustento de las comunidades de todas las regiones del mundo. Pero no hay dudas de que la mayor vulnerabilidad la presentan los pequeños estados insulares.

Los siempre escasos recursos de agua superficial y subterránea provocan que estos países vivan en o muy cerca del estrés hídrico. Sus recursos hidráulicos suelen estar deficientemente gestionados y se encuentran permanentemente afectados por elementos adicionales de presión como consecuencia de la contaminación de las aguas y los suelos y la explotación para satisfacer la creciente demanda. La intrusión marina, que avanzará aún más tierra adentro como consecuencia del ascenso del nivel del mar, será la mayor responsable de la pérdida de calidad y cantidad de las aguas subterráneas.

La sostenibilidad en la gestión del agua apunta en las siguientes direcciones:

- Programa de recarga de las aguas subterráneas.
- Mejoramiento de las capacidades de regulación artificial del escurrimiento.
- Sustitución de tecnologías de tratamiento in extenso por plantas compactas de tratamiento de aguas residuales.
- Mejoramiento del alcantarillado.
- Reducción de las pérdidas por conducción (fugas en general).
- Implementación de incentivos económicos al derroche y al buen uso.
- Reutilización de las aguas residuales.

En el caso de La Habana, las soluciones y perspectivas de mejoramiento recomendadas y aprobadas para la gestión de los recursos hidráulicos están concebidas en un programa de ingeniería y saneamiento en la ciudad y una componente de reajuste de política de precios que considera los siguientes aspectos fundamentales (Kalaff, 2013):

1. Modificaciones en las tarifas del sector estatal y privado.
2. La rehabilitación de los sistemas de acueducto considera rehabilitar 3 mil 200 km en La Habana en 12 años, con una ejecución financiera de 62.9 millones de pesos anuales.
3. Adicionalmente se ha evaluado la alternativa de reutilizar 3 m³/s de agua residual hasta un campo de infiltración que alimentaría permanentemente la Cuenca Vento y los Manantiales de Albear, lo que posibilitaría una fuente constante que aumentaría las reservas explotables de esta importante cuenca, aumentando las posibilidades de incremento de la explotación en épocas de lluvias normales.

Hasta el presente (Kalaff, 2013):

- Se han rehabilitado 691.3 km de redes con tecnología de PEAD, fundamentalmente en zonas con abasto deficitario y bajas presiones.
- Quedan pendientes por ejecutar en La Habana, según índices de cálculo, 3 mil 200 km de redes y conductoras, que incluyen los 2 mil 422 km de redes en mal estado y 235 km por concepto de ampliación.
- Asociado a la rehabilitación de redes se ejecutará alrededor de 20% de la rehabilitación/ampliación de los sistemas de alcantarillado, que incluye un total de 543 km.
- De las necesidades de rehabilitación de redes y conductoras se cuenta con proyecto para la ejecución de 898 km.

Es altamente recomendable continuar con el planeamiento y desarrollo de estudios más detallados sobre el régimen y la calidad de las aguas terrestres (superficiales y subterráneas) que abastecen a la capital del país, habida cuenta que al involucrar acuíferos cársicos se trata de un solo recurso. En términos de gestión, el refinamiento de la red de moni-

toreo hidrológica (incluyendo aguas superficiales y subterráneas) resulta una herramienta básica para el planeamiento y uso sostenible del recurso. Incorporar herramientas más rigurosas de modelación matemática de los procesos de transporte de masa, momento y energía, resulta vital para lograr simular escenarios cada vez más complejos de interacción agua superficial-subterránea-marina que incorporen cargas contaminantes diferenciadas en tiempo, modo y espacio; inputs más estresantes de demanda de agua bajo condiciones climáticas más adversas y con el influjo de eventos extremos prolongados es una necesidad para las pequeñas islas y, sobre todo, para aquellas que constituyen estados insulares.

Incorporar técnicas de tratamiento intensivo y recuperación de aguas, sobre todo para incrementar los recursos por vía de la recarga artificial de los mantos subterráneos y/o la recirculación y reaprovechamiento de las aguas tratadas, sobre todo en la industria y la agricultura, es de tal modo importante que apunta a la sustitución paulatina de las clásicas lagunas de oxidación –que ocupan áreas de tierra útiles– por plantas de depuración y tratamiento de aguas compactas pero asequibles a las pequeñas islas por vía de transferencia adecuada de tecnologías. En el futuro más inmediato deben preservarse, una vez bien identificadas, aquellas áreas cársicas costeras en las que convergen descargas de agua dulce que minimizan la salinidad de las mezclas resultantes por penetración de la intrusión marina, para abaratar los eventuales costos de desalinización que pudieran requerirse en el futuro, y preservar la calidad de las aguas litorales y marinas del alto contenido de sales y metales del rechazo de estas plantas cuando se emplean aguas de cada vez mayor salinidad.

La sostenibilidad del recurso agua no es una utopía en tanto se reconozca en toda su magnitud la complejidad de su gestión y la necesidad de enfrentarla con medidas estructurales y no estructurales adecuadas. El papel de los grupos de interés para lograr efectividad/sostenibilidad en este sentido es más que fundamental pero alcanzable en tanto cada cual –Gobierno, empresa, población y academia– tome parte activa, mancomunada y consciente del reto que implica disponer de agua segura para todos los usos, no en el futuro inmediato, sino hoy y ahora mismo.

9. Referencias

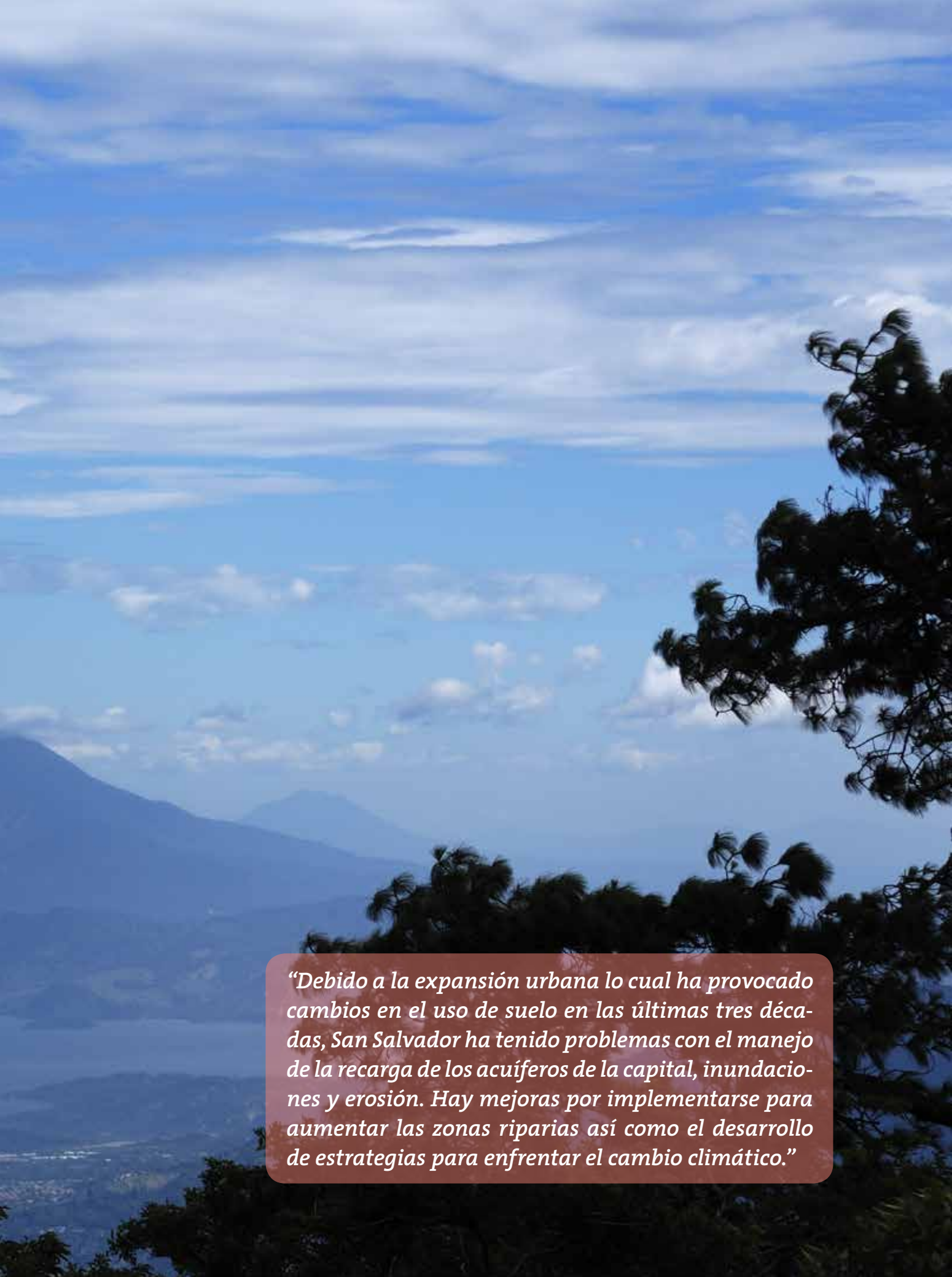
- Brown, M.M. (2006). Ventana de oportunidades. *Nuestro Planeta*. PNUMA, Nairobi 17(2): 5-7
- Concepción, M.; Moya, M.; Palacios, D.; González, M.I.; Cuéllar, L.; González, R. y Maldonado, G. (2013). Evaluación de la calidad sanitaria del agua en comunidades urbanas de Habana Vieja (Cuba). *Higiene y Sanidad Ambiental*, 13(4): 1075-1079.
- Cubadebate (2013). Los caminos del agua. Disponible en: <http://www.cubadebate.cu/?s=caminos+del+agua>
- CubaHora, Primera Revista Digital. Usted y yo: por una mayor conciencia hidráulica. Disponible en: <http://www.cubahora.cu/sociedad/usted-y-yo-por-una-mayor-conciencia-hidraulica-individual#.N5HisEoj8wo>
- Cruz Álvarez, M.R. (s/f). Las Siete Maravillas de la Ingeniería Civil Cubana. UNAICC, La Habana, 20.
- Cuevas Toraya, J. de las (2001). *500 años de construcciones en Cuba*. La Habana: Chavín Servicios Gráficos y Editoriales, S.L., 557.
- Dapeña, C.; J.L. Peralta Vital; R. Gil Castillo; D. Leyva Bombuse; H.O. Panarello; I. M. Fernández Gómez; L.F. Molerio León y M. Pin (2006). Caracterización isotópica de la cuenca kárstica Almendares-Vento, Cuba. Resultados Preliminares. XI Congr. Geol. Chileno, Antofagasta, Actas. Vol. 2, *Simp. Hidrogeol.* 607-610
- Dirección de Registros Médicos y Estadística en Salud (2013). *Anuario Estadístico de Salud 2013*. La Habana: OPS, UNFPA, UNICEF.
- Dourojeanni, A. y A. Jouravlev (1999). *Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos*. CEPAL, 181.
- Eguren, G. (1986). *La fidelísima Habana*. La Habana: Edit. Letras Cubanas, 436.
- Falkland, A. (1991). Hydrology and water resources of smallislands: a practical guide. UNESCO. *Studies and Reports in Hydrology*, 49, Paris, 435.
- Fernández Márquez, A. y R. Pérez de los Reyes (2009). GEO. *Evaluación del medio ambiente cubano*. CITMA, PNUMA, AMA. Rep. Dominicana: Edit. Centenario, 293.
- Figueredo Losada, H. (s/f). *El abastecimiento de agua a La Habana: la obra más relevante del Siglo XIX a nivel mundial*. La Habana, 9.
- García Blanco, R. (2007). *Francisco de Albear. Un genio cubano universal*. La Habana: Edit. Científico-Técnica, 376.
- García Blanco, R. et al. (2002). *Una obra maestra: el Acueducto Albear de La Habana*. La Habana: Edit. Científico-Técnica, 324.
- González, M.I. y Chiroles, S. (2010). Seguridad del agua en situaciones de emergencia y desastres. Peligros microbiológicos y su evaluación. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 48(1)93-105.
- Herrera Cruz, J.N.; C.D. Fonseca Gómez y O.C. Goicochea Cardoso (2004). *Perspectivas del Medio Ambiente Urbano*. Geo La Habana. La Habana: Editorial Si-Mar S.A., 189.
- Jofre, J.; Blanch, A.R. y Lucena F. Water-borne infectious disease outbreaks associated with water scarcity and rainfall events. En: S. Sabater, Barceló D. eds. (2010). Water Scarcity in the Mediterranean: Perspectives under Global Change. *The Handbook of Environment Chemistry*, Vol. 8. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 147-159.
- Kalaff Maluff, J. (2013). Plan estratégico para la solución de las pérdidas en la conducción del agua en La Habana. Inédito. Conferencia Invitada, Sociedad Económica de Amigos del País, La Habana, Cuba, Octubre, 2013.
- León, G. de (1990). La Zanja Real, primer acueducto de La Habana. *Voluntad Hidráulica*, La Habana, 83: 26-40
- Llanes et al. (2012). The Impact of Climate Change on Freshwater Resources in the Caribbean Region. Report of Research, CEPAL, 91 pp. (in press).
- Mardones Ayala, M. (2006). Evolución del Servicio de Agua a la Habana, 1519-1893. Patrimonio Hidráulico. Presentación al Taller Intervención Sostenible en el Patrimonio Urbano, Industrial e Hidráulico. La Habana, 29.
- Molerio León, Leslie F. (1989). Hidrogeología y Recursos Explotables del Campo de Pozos del Acueducto "El Gato", Habana. *Jor. Cient. Resultado '89*. La Habana: Acad. Cienc. Cuba, 20
- Molerio León, L.F. (2007). "Tritium as an indicator of groundwater overexploitation in a tropical karst aquifer". International Symposium on Advances in Isotope Hydrology and its role in sustainable Water Resources Management, Vienna, Austria, 21-25 May, 2007. IAEA-CN-151/125
- Molerio León, L.F. (2008). Una Revisión del Uso de Tritio Cosmogénico en el fechado de aguas subterráneas y su aplicación en el Acuífero Kárstico de la Cuenca de Vento, Cuba, *Bol. Soc. Venezolana Espeleol.*, 42: 20-32

- Molerio León, L.F. (2012). Contribución a la Geología Ambiental de la Ciudad de La Habana, Cuba. *Revista Mapping Latino. Centroamérica y El Caribe*. Marzo-Abril, No. 8 Marzo-Abril, Panamá: 42-46 http://issuu.com/mappinglatino/docs/mapping_8?mode=window&backgroundColor=#222222
- Molerio León, L.F.; P. Maloszewski; M.G. Guerra Oliva; O. A. Regalado; D. M. Arellano Acosta; C. March Delgado & K. del Rosario (1993). Dinámica del Flujo Regional en el Sistema Cársico Jaruco-Aguacate, Cuba. En *Estudios de Hidrología Isotópica en América Latina 1994*, IAEA TECDOC-835, Viena: 139-174.
- Molerio León, L.F. y E. Flores Valdés (1997). Paleoclimas y Paleocarsos: los Niveles de Cavernamiento y la Variabilidad del Clima Tropical en el Golfo de México y el Caribe. En D.M. Arellano, M.A. Gómez-Martin e I. Antigüedad (Eds.), *Investigaciones Hidrogeológicas en Cuba*. Eibar, País Vasco: 225-232.
- Molerio León, L.F.; P. Maloszewski; M.G. Guerra Oliva; D.M. Arellano; K. del Rosario (2002). Hidrodinámica isotópica de los sistemas acuíferos Jaruco y Aguacate, Cuba. *Ing. Hidr. y Ambiental*, La Habana, XXIII (2):3-9
- Morales Pedroso, L. (1938). *El abasto de agua en la ciudad de San Cristóbal de La Habana*. La Habana, 14.
- Naciones Unidas (2010). Agua y ciudades. Hechos y cifras. Disponible en: http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/swm_cities_zaragoza_2010/pdf/facts_and_figures_long_final_spa.pdf
- Orellana Gallego, R. (2006). *Reflexiones sobre el uso de suelo urbano para la agricultura en Ciudad de La Habana*. La Habana: Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT), 6.
- Organización Mundial de la Salud (2005). Celebración del Decenio Internacional para la acción "El agua, fuente de vida" 2005-2015. Día Mundial del agua 2005, OMS. Disponible en: <http://www.un.org/waterforlifedecade>
- Organización Mundial de la Salud. *Revisión anual mundial de saneamiento y agua potable (GLAAS) de ONU-AGUA de 2010: focalizando los recursos para mejores resultados*. Ginebra: WHO, 2011.
- Organización Panamericana de la Salud. *Progress on Sanitation and Drinking-Water: update 2010*. OMS/ UNICEF JMP, 2010.
- Organización Panamericana de la Salud. *Salud en las Américas*. Ginebra: WHO, 2012.
- Organización Panamericana de la Salud. *Informe Regional sobre el desarrollo sostenible y la salud en las Américas*. Washington, DC: OPS, 2013.
- Organización Panamericana de la Salud/ Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS). *Actualización epidemiológica. Cólera*. Marzo de 2014. Ginebra, OPS/OMS, 2014.
- Organización Panamericana de la Salud/ Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS). *Alertas y Actualizaciones Epidemiológicas. Anuario 2013*. Ginebra, OPS/OMS, 2013.
- Planos, E. et al. (2000). Impacto del cambio climático en los recursos hídricos de Cuba. 1ª Comunicación Nacional de Cuba al Convenio Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Inédito. Informe Científico Técnico del CENICA- INRH, Cuba, 35 pp.
- Planos, E. y Rodríguez, H. (2004). Impacto del cambio climático en los recursos hídricos de República Dominicana. 2ª Comunicación Nacional de República Dominicana al Convenio Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Inédito. Informe Técnico del Ministerio del Ambiente de República Dominicana.
- Quintana Garmendía, A.; B. Ballagas Flores; L.F. Molerio León; J.C. Torres Rodríguez; E. Rocamora Álvarez; M.G. Guerra Oliva (1999). Estructura autocorrelatoria y espectral de los niveles piezométricos de la cuenca Ariguanabo. VIII Jor. Cient. Inst. Geof. Astron., Dic. 20-21, La Habana, 35.
- Stanwell-Smith, R. Classification of water-related disease. En: *Water and Health* Vol. 1. *Encyclopedia of Life Support System* (EOLSS). 2009, Ginebra: Grabow WOK; 66-86.
- Shiklomanov, I.A (1998). World Freshwater Resources. International Hydrological Programme, UNESCO.
- Tucci, C.E.M. (2001). Urban drainage in specific Climates. Volume I: Urban drainage in the Humid Tropics. IHP-V, *Tech. Docs. in Hydrology*, No. 40, UNESCO, Paris, 227.
- United Nations (1976). Ground Water in the Western Hemisphere. Natural Resources, Water Series No. 4. Dep- Econ. Soc. Affairs, New York, 337.
- Weiss, J.E. (1972). *La arquitectura colonial cubana*. Tomo 1: Siglos XVI/XVII. La Habana: Inst. Cubano del Libro, Edit. Arte y Literatura, 319.

El Salvador



Panorámica del Volcán San Vicente y del Lago Ilopango contiguos a la ciudad de San Salvador.
Foto: ©iStock.com/GomezDavid.



“Debido a la expansión urbana lo cual ha provocado cambios en el uso de suelo en las últimas tres décadas, San Salvador ha tenido problemas con el manejo de la recarga de los acuíferos de la capital, inundaciones y erosión. Hay mejoras por implementarse para aumentar las zonas riparias así como el desarrollo de estrategias para enfrentar el cambio climático.”

Perspectiva de las aguas urbanas en El Salvador*

Julio César Quiñonez Basagoitia

Resumen

El presente capítulo Aguas Urbanas-El Salvador se desarrolla tomando como ámbito primordial de análisis a nivel nacional el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), que se encuentra conformada por 14 municipios y dentro de la cual se localiza San Salvador, capital del país. Un primer aspecto que se destaca es la variación paulatina en los usos del suelo que se han experimentado en las últimas tres décadas, debido principalmente al avance urbanístico en amplias zonas de cobertura arbórea que constituían áreas esenciales de recarga hídrica hacia el acuífero de la capital, y de amortiguamiento y atenuación natural del escurrimiento superficial, principalmente en momentos de eventos meteorológicos extremos. Eventos que en muchas ocasiones han cobrado pérdidas de vidas humanas y definido zonas de riesgo, principalmente en las partes bajas de la capital, llevándose a cabo, a partir ello, grandes inversiones en infraestructura con el fin de regular los flujos, ampliar y confinar los cauces, evitar erosión en zonas ribereñas y reducir la probabilidad de desbordamiento en puntos críticos.

Se destaca, por otra parte, el estado de los acuíferos y aguas superficiales, así como su importancia estratégica para el abastecimiento de la población, tomando en cuenta los niveles actuales de cobertura de agua potable y las problemáticas que se presentan en torno a la producción de agua, inversiones realizadas en los últimos años y pérdidas hídricas en el suministro por conexiones fraudulentas y principalmente por fugas, las cuales podrían estar contribuyendo de forma artificial a la recarga hídrica del acuífero de San Salvador.

Un aspecto de gran importancia en la dinámica de las aguas urbanas que se destaca en el presente capítulo es lo relacionado al saneamiento y sus diversos aspectos, que conlleva referente a la disposición de excretas, a la calidad del agua, aguas de reúso y a la cobertura en cuanto al tratamiento de aguas residuales que se dispone en el país, considerando adicionalmente el marco normativo y jurídico vigente en relación con los parámetros internacionales. Además, el tema del saneamiento cobra vital importancia por cuanto está íntimamente vincula-

*Este capítulo fue elaborado con el apoyo de Global Water Partnership GWP

do a los problemas de contaminación y de la salud de la población. En ese sentido, se destacan los niveles y estadísticas actuales en cuanto a las principales enfermedades que reporta el Ministerio de Salud en relación con el agua y a las condiciones sanitarias, así como las problemáticas actuales, los esfuerzos que se realizan desde el sistema de atención pública de servicios de salud y los aspectos presupuestarios que representan en gran medida el gasto que orienta el Estado para afrontar la problemática de salud, como consecuencia de la vulnerabilidad socio-ambiental en que se encuentran grandes sectores poblacionales.

Finalmente se presenta las condiciones en cuanto a los impactos del cambio climático en los recursos hídricos, en las fuentes de aguas subterráneas y superficiales, en la disponibilidad hídrica y su proyección en el futuro a partir de los diversos estudios realizados, así como las medidas dentro de la estrategia nacional del cambio climático y el plan de adaptación que se impulsa actualmente.

1. Introducción

La perspectiva de las aguas urbanas en El Salvador ha adquirido mayor importancia y prioridad en atención a los diferentes dinamismos, desafíos, riesgos y problemáticas que conlleva, principalmente en las últimas dos décadas y con especial énfasis a partir de los acuerdos de paz en 1992. Con la finalización del conflicto armado, se abrió una nueva etapa de estabilidad que propició un auge económico, principalmente de algunos sectores vinculados al sector financiero, inmobiliario, comercial, importador y logístico, lo cual se manifestó, en gran medida, en un mayor desarrollo económico y modernización de los procesos urbanos, es decir, aquellos que se hacen presentes en la metrópoli como su escenario fundamental, a diferencia de los procesos económicos y agro-productivos de los años 70 y precedentes, cuyo escenario primordial fue el ámbito rural, siendo éste el lugar donde se desarrolló una economía basada en la agricultura y que determinaba en gran medida las dinámicas sociales y culturales, principalmente aquellas relacionadas con los medios de vida de amplios sectores de la población rural.

La crisis socio-política previa al conflicto armado durante los años 70, el conflicto armado (1980-1992) y este giro en el modelo socio-productivo en un tiempo relativamente corto (década de los 90)

generaron, entre otros aspectos, importantes desplazamientos del campo a la ciudad, donde el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS) se convirtió en la zona urbana de mayor crecimiento poblacional en el país. Según la DIGESTYC, el departamento de San Salvador, donde se encuentra ubicada el AMSS, pasó de 733 mil 455 habitantes en el año de 1971 a 1 millón 512 mil 125 habitantes en el año de 1992. Es decir, experimentó un crecimiento de más de 100%. De acuerdo a un estudio realizado por la firma Lotti & Asoc. (2001), la expansión urbana sin planeamiento del área metropolitana registró un aumento de 21% en el período 1994-2002.

Por otra parte, los eventos sísmicos de los años 1965, 1986 y 2001, además de las pérdidas humanas que causaron, significaron importantes daños y cuantiosa destrucción de infraestructura social de sectores de escasos recursos económicos. Esta situación coadyuvó, en los años posteriores, a la presencia paulatina de nuevos asentamientos urbanos y periurbanos, muchos de ellos ilegales, es decir sin títulos de propiedad de la tierra, que pasaron a ocupar zonas ribereñas y de amortiguamiento próximas a quebradas, ríos y drenajes naturales, dando paso a condiciones de vulnerabilidad ante las dinámicas pluviales y eventos meteorológicos extraordinarios.

Aunado a ello, el avance urbanístico, principalmente en los últimos 15 años, en las partes medias y altas de las cuencas del área metropolitana, especialmente en la zona sur poniente de la capital, ha ido configurando, en interacción con crecidas de altos periodos de retorno, un nuevo patrón de altos escurrimientos, lo cual ha generado cuantiosos daños y pérdidas humanas en las zonas bajas. Al respecto cabe destacar el evento memorable del 3 de julio de 2008, el cual generó una crecida descomunal en una de las zonas bajas de San Salvador (colonia La Málaga), y el consecuente desbordamiento del río en ese sector, ocasionando el arrastre de un bus con la consecuente pérdida de vidas humanas.

Según el análisis con base en modelación hidrológica sobre cambios de usos de suelo en el AMSS (Erazo, 2009), los caudales generados en el punto de la tragedia se vieron incrementados en 22% con relación a los caudales generados por la misma condición de lluvia en el año 1992, en la que la cobertura arbórea presentaba 12.7% más que la cobertura actual y la ocurrencia del caudal pico se experimentó con 25 minutos de antelación a los caudales pico que

se hubiesen presentado en el año de 1992. Es decir, la cuenca ha perdido, en este periodo (1992-2009), la capacidad de laminación o regulación de altos caudales debido al incremento de la magnitud y rapidez de los flujos. Posteriormente a este trágico evento han sucedido desbordamientos en diferentes puntos de la capital, debido a los eventos de baja presión asociados al Huracán Ida (7 de noviembre de 2009), Tormenta Tropical Agatha (29-30 de mayo de 2010) y Depresión Tropical 12E (10-20 de octubre de 2011), en todas ellos habiéndose reportado pérdidas de vidas humanas y cuantiosos daños materiales.

A partir de esta situación, se han realizado en los últimos años importantes inversiones en obras de protección y mitigación, relacionadas a rehabilitación y ordenamiento de algunos tramos de ríos, muros periféricos y de confinamiento de cauces, rehabilitación y cambio de colectores con mayores diámetros, entre otros, que han contribuido significativamente a disminuir los puntos críticos, zonas de riesgo y de desbordamientos en diferentes sectores de la capital.

Finalmente es importante destacar que, adicionalmente a esta problemática, el abordaje de los desafíos que plantea el saneamiento, la situación de

las fuentes de abastecimiento de agua y cobertura de agua a la población, así como la atención a las condiciones de monitoreo de la calidad y contaminación de las aguas y su impacto en la salud de las personas, revisten una importancia primordial en el análisis de las aguas urbanas, lo cual se expresa con mayor énfasis desde el AMSS, ya que la misma representa actualmente 43% de la población urbana del país y el territorio sobre el cual se han llevado a cabo en mayor medida importantes estudios, discusiones, análisis y acciones relacionadas a la dinámica de las aguas urbanas en El Salvador.

2. Fuentes de agua en zonas urbanas y los impactos causados por la urbanización

2.1 Cambios de usos del suelo en el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS)

El Salvador posee una extensión de 21 mil 40.80 km² distribuida en 14 departamentos –siendo el departamento de San Salvador, donde se ubica el AMSS que

Figura 1. Mapa El Salvador División Política Administrativa



integra la capital, que lleva el mismo nombre de San Salvador– y 13 municipios aledaños.

La población nacional para el año 2011 fue de 6 millones 213 mil 730 habitantes, de acuerdo a las características demográficas de la Encuesta de Hogares de Propósitos Múltiples 2011 (EHPM-2011). La misma establece que 62.5% de la población (3 millones 871 mil 332 habitantes) representa el área urbana –dentro de la cual se encuentra la zona metropolitana de San Salvador con una población de 1 millón 683 mil 726 habitantes– y 37.7% (2 millones 342 mil 398 habitantes) representa el área rural. El Salvador se ubica en la vertiente pacífica de Centro América colindando al occidente con Guatemala, al norte con Honduras y al oriente con Nicaragua, separados ambos países por el Golfo de Fonseca. En la Figura 1 puede observarse la división política administrativa del país, indicándose en línea continua roja la extensión correspondiente al AMSS.

El área metropolitana se ubica en la zona centro occidental de la cadena volcánica que atraviesa el territorio nacional de occidente a oriente, colindando con el Volcán de San Salvador y extendiéndose ampliamente a partir de sus estribaciones en dirección Este, Noreste y Suroeste.

En ese sentido, la ciudad (Figura 2) ocupa buena parte de zonas de laderas y pendientes medias del volcán en el orden de 15-18%, las cuales poseen una gran capacidad de generación de flujos rápidos, principalmente en zonas de escasa vegetación y de mayor impermeabilización, que van descendiendo hasta alcanzar zonas con pendientes menores a 3% y que se conciben como las zonas bajas de mayor susceptibilidad por acumulación de flujos y desbordamientos.

Las formaciones geológicas circundantes al AMSS, en la interfase de la ciudad con la zona periurbana son de carácter volcánico constituido por rocas piroclásticas, lavas cuaternarias con lavas provenientes de la actividad volcánica reciente (menor a los 10 mil años) y escoria, las cuales en su conjunto presentan una alta permeabilidad.

En interrelación con las formaciones geológicas, el tipo de suelo predominante en el AMSS proviene de ceniza volcánica y es conocido como andisoles (40-50 cm de espesor), el cual posee una textura franca (areno-limosa) y una estructura granular. Estos suelos poseen una gran capacidad de retención hídrica y muy buena infiltración, principalmente

Figura 2. Panorámica de la zona sur-poniente de San Salvador

Fuente: <http://ht-i2012-773-sansalvador-sanmiguel.blogspot.mx/2012/05>



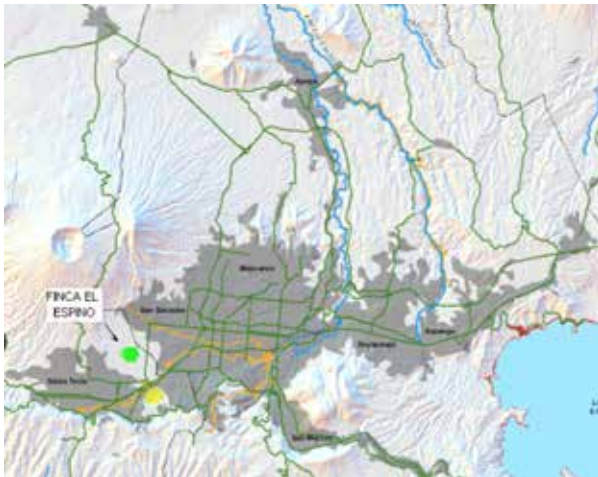
cuando la fisiografía presenta moderadas o bajas pendientes (< 8%) y una amplia cobertura arbórea que coadyuva a atenuar el escurrimiento superficial y a propiciar los tiempos de retención de humedad para favorecer la infiltración y percolación subterránea hacia el acuífero de la capital, San Salvador, cuya área de explotación se encuentra en las zonas medias y bajas de la ciudad.

En relación con ello, es importante mencionar que en las últimas décadas se ha presentado un proceso paulatino de degradación de estas zonas esenciales de recarga hídrica y de atenuación natural del escurrimiento superficial, lo cual se expresa de manera extrema en la intervención y destrucción progresiva de la Finca El Espino, como consecuencia del avance urbanístico. Se le conoce con ese nombre a la más importante extensión hidrográfica para la recarga hídrica del acuífero de San Salvador y que se torna, además, en la zona de amortiguamiento pluvial del entorno urbano, lo cual contribuye significativamente a la reducción del riesgo por inundación aguas abajo.

Este territorio se localiza al sur-poniente de la capital tal como se ilustra en el mapa del AMSS que se presenta en la Figura 3.

Inicialmente, tal como lo formula el informe de Dada Arquitectos (2010), a finales de los años 70, la Finca El Espino alcanzó un área de 798.1 hectáreas (ha). Durante los años del conflicto, en la década de los 80, 31.1 ha pasan a ser propiedad de la escuela militar; durante los años 90 una porción de 12.45 ha se destinó a campus universitarios e institutos priva-

Figura 3. Mapa del AMSS y de ubicación de la Finca El Espino



dos de educación; posteriormente, durante los años 2002-2005, una nueva fracción en el orden de 27.7 ha son destinadas a la construcción de centros comerciales y estacionamientos, lo cual va acompañado de la apertura e inicio de construcción de nuevos ejes preferenciales y autopistas que ocupan un trazo vial estimado de 33.2 ha; finalmente, en los últimos años, además de concluirse los proyectos viales planificados desde las década de los 90, se ha llevado a cabo entre 2010-2013 la más importante alteración de la Finca El Espino con la implementación y formulación por etapas de proyectos habitacionales y residenciales de lujo que ocupan uno de los más importantes espacios hidrográficos, tanto por su tipo de suelo, vegetación originaria y escasa pendiente, lo cual alcanza una extensión de 110.8 ha.

Es importante destacar que la Finca El Espino no solamente posee las favorables características geológicas y de tipos de suelos señaladas anteriormente, sino que además, dada la amplia cobertura vegetal y fisiografía de bajas pendientes –al respecto su apreciación panorámica es la de una llanura completamente arborizada–, se constituye en un área de alta retención del escurrimiento laminar y en un área que presenta uno de los más altos valores de recarga hídrica a nivel nacional, determinados entre 450-500mm (SNET-MARN, 2005; Junker, 2005), lo cual fue equivalente, en su extensión inicial, a un almacenamiento hídrico subsuperficial y subterráneo superior a los 3.6 millones de m³ anuales.

Por otra parte, este territorio –dada su cobertura vegetal donde se interrelacionan fracciones del

bosque originario con plantación de café y bosque secundario– ejerce funciones esenciales en cuanto a la preservación de la biodiversidad de mayor proximidad a la capital, en la generación de oxígeno, en la fijación del CO₂, como un regulador de las concentraciones de la contaminación atmosférica y como un paisaje de belleza natural en el marco de la ciudad.

Un aspecto relevante que ha contribuido a agudizar la problemática sobre los cambios de usos de suelo y los impactos causados por la urbanización en el AMSS, ha sido prioritariamente la imposición de los intereses económicos que lograron en la década de los 90 un decreto legislativo que aprobaba la urbanización de esas zonas esenciales, evadiendo y desconociendo en esos años los lineamientos y pautas sobre la caracterización del territorio y ordenamiento ambiental que se venían estableciendo desde las décadas de los 70 y 80 e incluso desde antes.

Al respecto, la iniciativa de METROPLAN-80, elaborada en 1969, concebía que la planificación urbana, para las próximas décadas, debía estar enfocada a alcanzar metas sociales y económicas, debiendo fortalecerse la institucionalidad, el marco jurídico del ordenamiento sustentable y dentro de políticas espaciales y ambientales del territorio urbano. En sintonía con este enfoque, en 1973 se aprueba la Ley Forestal, la cual contenía las primeras declaratorias de Zonas de Protección en el Volcán de San Salvador. En la década de los 80, el PLAMDARH-1982 estableció que amplias zonas de las estribaciones norte y sur del Volcán de San Salvador, región hidrográfica A, subregión San Salvador, ejercían funciones estratégicas en cuanto a la recarga hídrica del acuífero de San Salvador, dado sus características hidrogeológicas de alta infiltración (índices de infiltración en el intervalo de $C=0.4-0.6$), y alta percolación hacia estratos profundos, categorizadas por el estudio como “Zonas de máximo potencial de infiltración y escurrimiento mínima”. En virtud de ello, establecía como prioritaria su protección, más aún cuando el mismo estudio afirmaba que el acuífero ya para esa época se encontraba sobreexplotado con un descenso de 1.0 m/año. Dicho resultado fue obtenido a partir de la observación de la fluctuación de 9 pozos durante el periodo de 1967-1971 en el marco de un proyecto entre la ANDA (Asociación Nacional de Acueductos y Alcantarillados) y el PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). Posteriormente, en el marco del estudio del PLAMDARH se preparó un

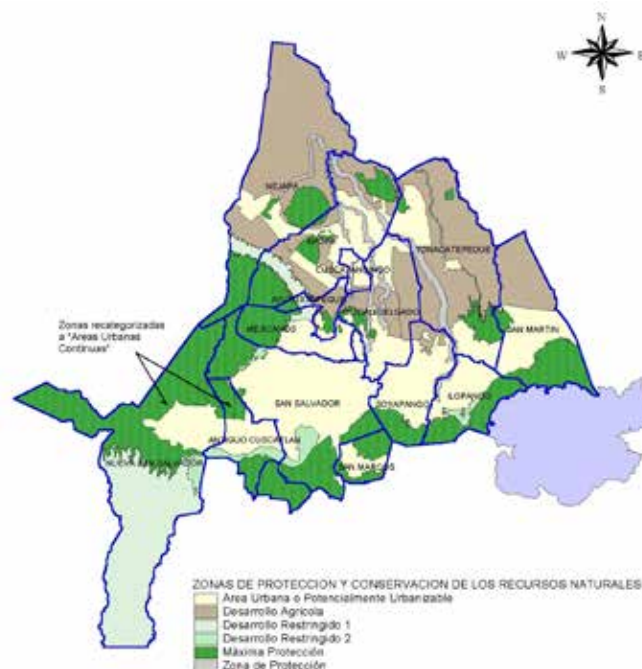
modelo digital del acuífero de San Salvador, el cual determinó un abatimiento de la superficie freática de 0.6 m/año.

Tomando en cuenta estos antecedentes y experiencias, en la década de los 90 se creó el Plan Maestro de Desarrollo Urbano (PLAMADUR-1996), a partir del cual se definían categorías de uso de suelo que establecían zonas de protección y de desarrollo desde una perspectiva que tomaba en cuenta la planificación ambiental. En cierta forma, esta planificación protegía y categorizaba como “zonas de máxima protección”, es decir, zonas no urbanizables, la Finca El Espino y otras zonas esenciales de la zona sur poniente del AMSS.

Sin embargo, dado que el PLAMADUR surgía entre otros aspectos amparado en los términos de la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del AMSS, aprobada en 1993, el mismo podía estar sujeto a modificaciones o enmiendas de acuerdo a planes parciales municipales o provenientes de personas naturales o jurídicas que consideren que “el plan parcial puede proveer mayores beneficios o rentabilidad al sitio en cuestión”, o bien, que el sitio de interés y sus “determinaciones iniciales se encuentren desbordadas por la evolución del desarrollo territorial”. Bajo estos razonamientos, todas las determinaciones de tipo hidrogeológicas, socio-ambientales, reducción del riesgo aguas abajo y de preservación de los recursos hídricos, quedaban relativizadas y podían ser fácilmente superadas.

Para el director de la Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS) a mediados de los 90, el investigador Mario Lungo, los mercados de tierras urbanas en San Salvador (PRISMA-1996) se ubican primordialmente en la zona sur poniente de la capital. Los mismos surgen a partir de la nueva valorización de la tierra que van adquiriendo progresivamente las antiguas fincas de café, las cuales pertenecen a un reducido número de propietarios, pero que tienen la capacidad de ir conduciendo la dinámica del desarrollo urbanístico al margen de una real planeación socio ambiental desde el Estado y, sobre todo, al margen de un marco regulatorio que fomente la equidad y la preservación de los recursos. En ese sentido, desde la perspectiva de los mercados de tierras urbanas, para Lungo no solamente se pierde la visión de un desarrollo sustentable, pues se ha acelerado el proceso de degradación ambiental, sino que además se profundiza la exclu-

Figura 4. PLAMADUR-96



sión y segregación socio-espacial en las ciudades, por cuanto la gran mayoría de la población de bajos ingresos no tiene acceso a ese nuevo espacio urbano élite, hacia el cual el Estado, paradójicamente, se ve en la necesidad de invertir gran cantidad de recursos en facilitar y proveer obras de infraestructura vial, iluminación, servicios, seguridad, etcétera.

En años recientes, una reformulación significativa en cuanto a la recategorización de los usos de suelo se presenta en algunos de los informes y directrices municipales de Zonificación Ambiental y Usos del Suelo establecidos por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN-2013). Los mismos, referentes a la zona sur poniente de la capital, presentan importantes porciones concebidas anteriormente en el PLAMADUR-96 como de “máxima protección”, pero hoy se presentan reformulados como zonas de “área urbana continua”, lo cual expresa la adaptación y ajuste de los planes actuales de ordenamiento ambiental a la lógica de la urbanización. En la Figura 4 puede observarse la zonificación planteada por el PLAMADUR-96, donde la coloración verde significa “zona de máxima protección”. Actualmente, más de 110.8 ha han sido recategorizadas en las zonas indicadas como “área urbana continua” y “áreas a rehabilitar”.

Figura 5. Ubicación de la cuenca urbana del Río Acelhuate

Fuente: Barrera, M. "Caracterización Hidrogeoquímica...", Sept. 2010.

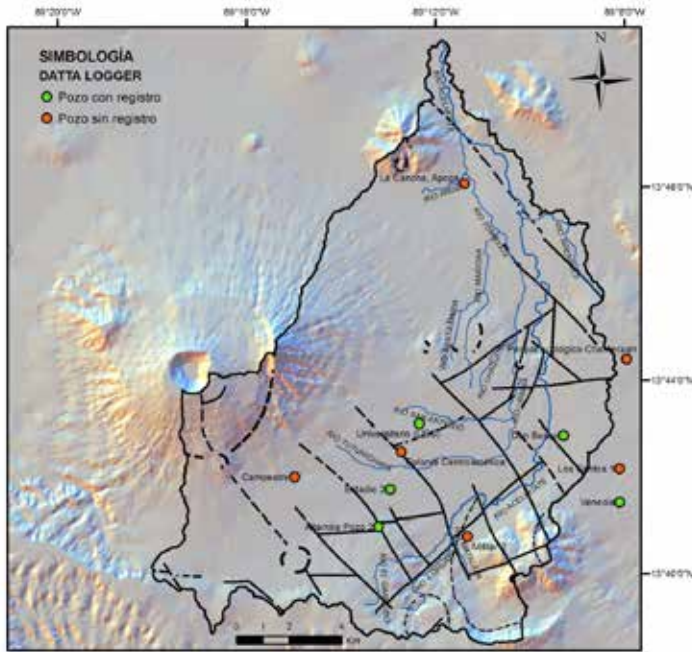
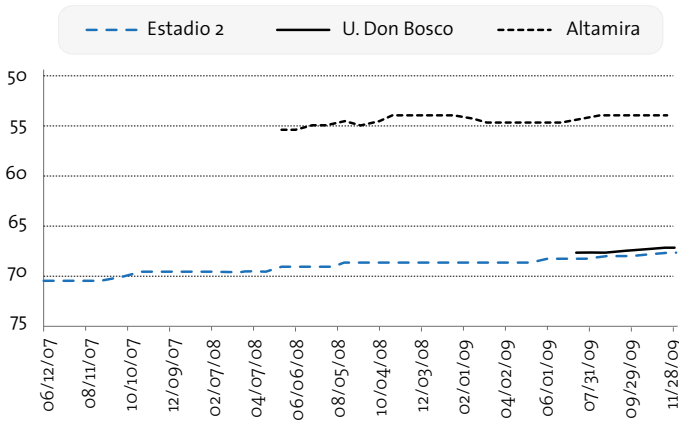


Figura 6. Variación temporal de los niveles de agua en los pozos

Fuente: Barrera, M. "Caracterización Hidrogeoquímica...", 2010"



Desde esta perspectiva, los cambios recurrentes y progresivos en los usos del suelo profundizan dos problemas fundamentales desde el análisis de la dinámica de aguas urbanas: el primero, referente a la continua reducción de la cobertura boscosa de la zona de recarga hídrica del acuífero de San Salvador y sus impactos en el mismo; el segundo, referente al incremento de la escorrentía superficial y los caudales pico, potenciando las zonas de riesgo en las zonas bajas de la capital.

2.2 Reducción de cobertura forestal

Reducción de la cobertura boscosa en la zona de recarga y sus impactos en la dinámica del acuífero de San Salvador, tomando en cuenta la recarga proveniente de fugas

La disminución de la recarga hídrica y las fluctuaciones en los niveles estáticos del acuífero de San Salvador son una temática que se ha venido analizando desde los años 70. Tal como se indicó anteriormente, los estudios del PNUD-ANDA en 1972 y PLAMDARH en 1982 establecían reducciones en los niveles estáticos de 1.0 m y 0.60 m respectivamente. En épocas recientes se han llevado a cabo nuevos estudios y análisis que reflejan la misma tendencia, principalmente determinada a partir de los niveles freáticos en los pozos situados en las zonas bajas.

Al respecto, dos importantes trabajos de investigación universitarios son citados y retomados en el marco del estudio sobre la caracterización hidrogeoquímica del acuífero de San Salvador (Barrera, 2010), destacando a partir de los mismos el descenso del nivel freático en aproximadamente 1m/año (Coto, 1994), lo cual fue determinado en los análisis llevados a cabo en 1994 y específicamente a partir de los más recientes realizados en 2005, donde se estimaron descensos de 2.47m/año para San Salvador y 1.47/año para Soyapango (Arévalo y Vásquez, 2005).

El análisis de las fluctuaciones de los niveles estáticos de los pozos y del posible aporte como recarga acuífera proveniente de fugas que experimenta el sistema de agua potable y alcantarillado de San Salvador, es el objetivo central de la investigación realizada por Marcia Barrera en 2010, desde una caracterización hidrogeoquímica de las aguas de recarga en el acuífero.

Inicialmente se destaca que, para esa fecha, se dispone del monitoreo de niveles de cinco pozos, mediante la implementación de dispositivos de *data logger*, cuyos registros comprenden el periodo 2007-2009. Dos se encuentran en la zona alta de la cuenca y tres de ellos en la zona media. En la Figura 5 se presenta la ubicación de dichos pozos en coloración verde, inmersos en la cuenca hidrográfica del Río Acelhuate, donde se localiza el acuífero de San Salvador.

Uno de los pozos que se encuentran en la zona intermedia de la cuenca experimentó un incremento relativo de su nivel en el orden de 0.60 m (pozo Don Bosco), mas sin embargo sólo posee un registro de 5

meses en la época lluviosa del año 2009. Un segundo pozo en esa misma zona no presentó variación para el corto periodo de registro, pero en relación al punto de registro inicial en el año 2007 había experimentado un descenso de 4.79 m.

Uno de los dos pozos monitoreados en la zona alta (pozo Altamira) mantuvo en general una fluctuación correspondiente al ciclo interanual de lluvias, es decir, de mayo a octubre considerada la época lluviosa, y de noviembre a abril la época seca, presentando una disminución en cierto periodo y luego un incremento en otro periodo del año, con un aumento relativo de 0.16 m.

Sin embargo, una de los aspectos específicos de este pozo es que el mismo se encuentra ubicado precisamente en una intercepción del corredor de fallas geológicas provenientes de las zonas altas de recarga hídrica, una de ellas extendiéndose direccionalmente hacia el cráter del Volcán de San Salvador, lo que contribuye significativamente a su mantenimiento en tanto se encuentra en la zona de circulación de flujos preferenciales y no sería muy representativo de otros sectores del acuífero.

El otro pozo situado en la zona alta (pozo Estadio) no presenta dicha fluctuación cíclica-estacional, sino que su comportamiento refleja una tendencia continua al alza no acorde a los tiempos interanuales de recarga y descarga. Esta condición podría estar suponiendo una "recarga artificial" proveniente justo de las fugas en el sistema de agua potable y alcantarillado pluvial y sanitario, y de una reducción de explotación en la zona por desuso de algunos pozos e, incluso, del pozo de análisis, pues el mismo no estaba en funcionamiento durante el periodo de registro. En la Figura 6 puede observarse el comportamiento descrito de los pozos analizados durante 2007-2009. La columna de la izquierda refleja la profundidad de los niveles freáticos de los pozos en metros.

Uno de los aspectos relevantes que se destacan en la investigación es el descenso de las líneas potenciométricas o líneas que establecen los niveles de agua en el acuífero, principalmente en la parte media baja de la cuenca hidrográfica. Esto se refleja en la baja productividad o desuso de algunos pozos importantes situados en sectores populares ubicados en los municipios de Soyapango y San Marcos.

Dada la configuración de la geología estructural, los pozos situados en la línea de fallas o en su entorno, direccionadas hacia las zonas de recarga,

los cuales se ubican primordialmente en las zonas medias y altas de la cuenca, conservan sus condiciones de recarga interanual e incluso algunos de ellos experimentan cierto incremento de sus niveles freáticos. Sin embargo, los que se encuentran en las zonas bajas, hidrogeológicamente constituidas por una formación acuífera porosa y sedimentaria de mayor consolidación y mediana permeabilidad, experimentan un detrimento paulatino e incluso su desuso por baja productividad y por los altos costes que representa su puesta en funcionamiento.

Aunque en el estudio sobre caracterización hidrogeoquímica no se cuantifica una estimación del agua producida para el consumo, que podría estar recargando el acuífero en concepto de pérdidas, sí se establece cualitativamente el significativo aporte que este volumen de agua puede estar proveyendo al acuífero de San Salvador.

Para ello, tomando en cuenta el análisis de algunos parámetros físico-químicos (pH, temperatura, conductividad eléctrica), se efectuó el análisis de concentraciones (mg/l) de iones de algunos elementos hidrogeoquímicos de las fuentes de aguas para el abastecimiento de San Salvador, principalmente de Calcio (Ca^{2+}), Sodio (Na^{2+}) y Magnesio (Mg^{2+}), los cuales se correlacionaron comparativamente con las muestras obtenidas de pozos en el AMSS. Los resultados obtenidos presentaron una correspondencia entre las características y concentraciones encontradas en algunos sectores del acuífero y las provenientes de las dos principales fuentes externas de abastecimiento que alimentan el sistema de distribución de agua para la capital. Al respecto es importante destacar que el abastecimiento de agua para el AMSS se lleva a cabo mediante tres sistemas, indicando sus correspondientes aportes para el año 2013: 1) Las Pavas (38.5%), 2) Zona Norte (20.9%) y 3) Sistema Tradicional (40.6%). Los dos primeros son sistemas externos de abastecimiento al AMSS, mientras que el tercero constituye el sistema de pozos internos que extraen el recurso hídrico del acuífero de San Salvador.

A través del análisis de los isótopos ambientales Oxígeno 18 y Deuterio, los cuales se relacionan con la altitud e inversamente con la temperatura, se determinó que la recarga subterránea por lluvia se hace presente primordialmente en las partes medias y altas de la cuenca y en los corredores de la geología estructural de líneas de fallas que su ubican en esas zonas, las cuales se caracterizan por una menor

densidad urbanística. Por otra parte, el muestreo de agua subterránea analizada dentro de la cuenca presentó similares composiciones isotópicas a las de los dos sistemas de abastecimiento de agua, proveniente de cuencas externas a la capital: “Las Pavas” y “Zona Norte”.

Finalmente se analizó que existe un significativo aporte proveniente del alcantarillado de aguas negras de la ciudad, debido a la presencia de altas concentraciones de nutrientes y otros elementos de referencia como iones de nitratos NO_3^- , cloruros (Cl^-) y sodio (Na^+) que se hacen presentes con mayor énfasis en la zonas céntricas y medias de la cuenca, donde se localizan los sectores con tuberías frágiles y antiguas, mayores a los 50 años en el alcantarillado sanitario.

De acuerdo a la memoria de labores de la ANDA-2013, la producción de agua para el AMSS fue de 183,3 millones de m^3 , la cual representa 51.8% del agua producida a nivel nacional por la institución que fue de 353.6 millones de m^3 . Otros operadores produjeron a nivel nacional 9.1 millones de m^3 .

El consumo total facturado en el AMSS fue de 113.8 millones de m^3 de tal forma que 69,5 millones de m^3 constituyen pérdidas por fugas en redes dañadas por su antigüedad y por consumo no facturado. El consumo no facturado está compuesto por la sustracción de aguas en hidrantes y conexiones ilegales, y por la existencia de un pequeño grupo de usuarios

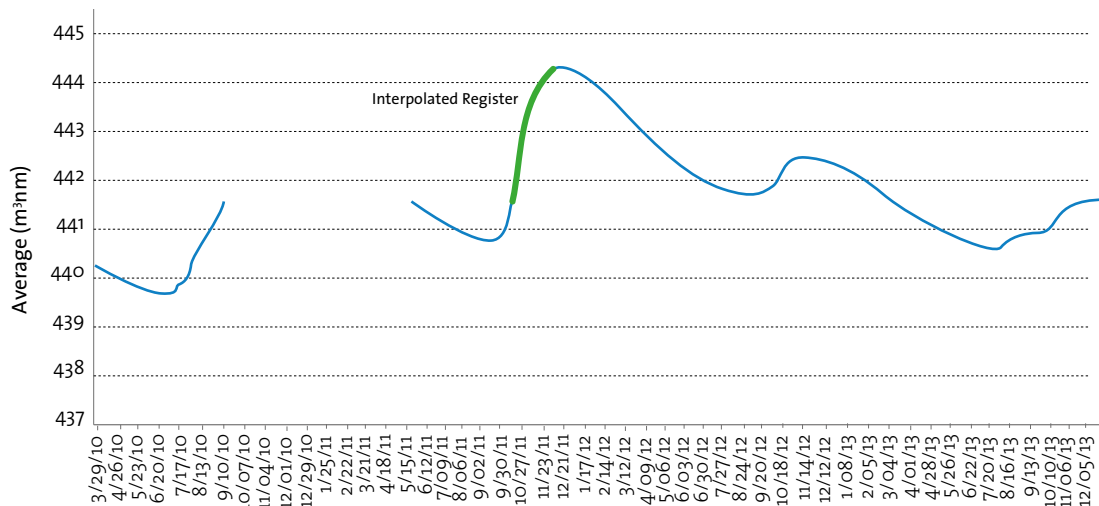
que aún no cuenta con medidor instalado, cuyo número, de acuerdo con la ANDA, representa 9.8%, y 3.5% de usuarios que tiene medidores sin funcionar, de tal forma que para ambos casos el cobro es fijo y estimativo.

De acuerdo con la ANDA, la pérdida por conexiones fraudulentas y el hurto de agua de manera permanente se ha reducido considerablemente en los últimos años. Esto ha sido posible gracias a una serie de medidas administrativas y técnicas, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes:

- Inspecciones y monitoreo sistemático a las redes de distribución y acometidas, habiendo legalizado una cantidad significativa de conexiones fraudulentas.
- Modernización en el sistema de consulta, atención y participación ciudadana mediante la implementación de centros de comunicación de 24 horas para reporte de denuncias, derrames de agua, averías, problemas de facturación, etcétera.
- Implementación de dispositivos de mano o mini computadoras portátiles para la lectura automática de medidores, control de dotaciones de agua suministrada, fotografía para el control y verificación del estado de las acometidas, reporte de problemáticas, registro histórico de dotaciones, etcétera.
- Instalación de medidores en las plantas de bombeo con dispositivos para el control de flujos, de

Figura 7. Registro de niveles freáticos Pozo Nejapa 6

Fuente: Registro de Red de Monitoreo Aguas Subterráneas, Gerencia de Hidrología Observatorio Ambiental-MARN 2013.



tal forma que puede llevarse a cabo un balance entre el agua producida en los circuitos y redes distribución, y la facturación correspondiente. Ello permite localizar, rastrear e identificar, entre otras cosas, problemas de conexiones fraudulentas.

- Modernización del catastro y mapas cartográficos computarizados de usuarios, lo cual contribuye a un mejor control del agua servida.
- Apertura de kioscos y sucursales para una mejor atención ciudadana.

Desde esta perspectiva puede considerarse que las pérdidas por sustracciones ilegales de agua se ha controlado significativamente, por lo que su contribución al consumo no facturado podría ser bajo. Si se considera que aún representa 10% de las pérdidas actuales, las pérdidas por consumo no facturado representarían 23.3%, de tal forma que las pérdidas por fugas de agua serían del orden de 53.3 millones de m³, gran parte de los cuales constituirían recarga directa al acuífero, y otra parte, en menor medida, podría estar contribuyendo a los flujos subsuperficiales y caudales base de algunos de los nacimientos de agua en las zonas medias y bajas de la ciudad.

A esta recarga artificial debe sumársele la recarga proveniente de las fugas en las tuberías y colectores de aguas negras, lo que supone un considerable aporte cuantitativo al acuífero, pero que repercute en un detrimento sustancial de la calidad de las aguas que posteriormente son sustraídas, tal como se ha analizado en el estudio abordado anteriormente.

Es importante destacar que la “Asociación Internacional del Agua (IWA, por sus siglas en inglés) considera que un sistema de agua potable tiene niveles de pérdidas medias, cuando el porcentaje de pérdidas en el mismo oscila entre el 8% y el 15% (Gerlingen, 2001)”, citado por Barrera (2010).

En general, aunque el acuífero de San Salvador –de acuerdo al análisis de los registros de cinco pozos– mantiene su equilibrio dinámico en las zonas medias altas de cuenca, esta situación no se refleja en las partes bajas, donde los pozos reflejan una disminución, tal como se señala en el estudio de caracterización hidrogeoquímica. Sin embargo, este equilibrio de las zonas medias-altas no corresponde a una recarga natural, sino a una aguda problemática de fugas que significa altos costos de operación para la ANDA, no solamente por la pérdida económica –la

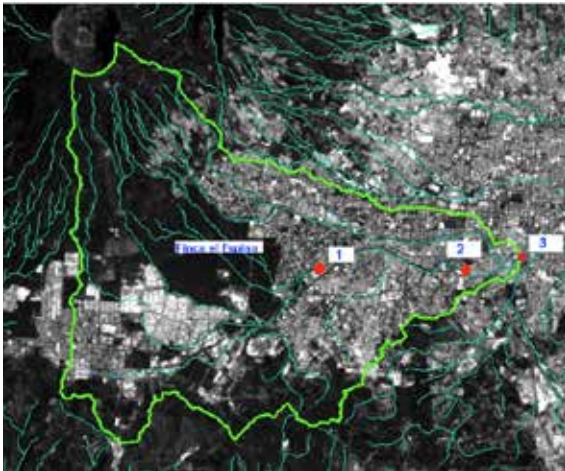
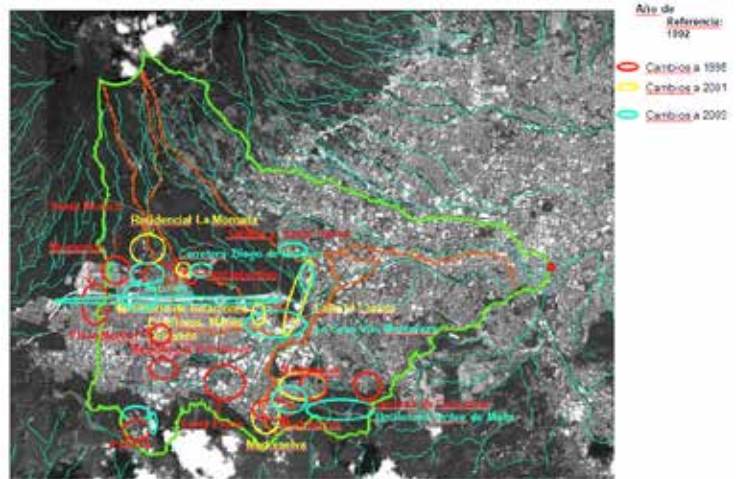
cual puede alcanzar varios millones de dólares en un excedente de producción para satisfacer las demandas de abastecimiento–, sino además por la necesidad creciente de depuración de las aguas extraídas. Desde esta perspectiva, la zonas de recarga hídrica no solamente poseen una función esencial en la conservación de los acuíferos, sino que además contribuyen a la capacidad de dilución y a la preservación de la calidad de las aguas subterráneas.

En interrelación con el acuífero de San Salvador, el acuífero de la Población de Nejapa se encuentra dentro del AMSS, pero constituido por una región hidrográfica propia, la cuenca del Río San Antonio, la cual a su vez forma parte de la segunda fuente externa de máxima importancia para el suministro de agua a la capital, conocida como Proyecto Zona Norte.

El acuífero de Nejapa, aunque es de mucha menor extensión que el acuífero de San Salvador, adquiere su importancia estratégica en tanto se localiza próximo a la capital y brinda un recurso hídrico de buena calidad cuya potabilización requiere mucha menos inversión que la proveniente de otros sectores. Esto se debe a que su zona de recarga hídrica principal se encuentra bien conservada, con una amplia cobertura arbórea y sin fuentes urbanas de contaminación directa. En ese sentido, y dada su baja urbanización, no se ve influenciado por recargas artificiales, sino que depende primordialmente del ciclo interanual de lluvias.

Sin embargo, en los últimos años, debido a la problemática de deterioro ambiental, el incremento de la contaminación de las aguas subterráneas y la reducción de los niveles freáticos en las zonas bajas que ha experimentado el acuífero de San Salvador, lo cual impacta en la necesidad de incrementar los costos de producción de agua en los pozos, diversas industrias –entre ellas, embotelladoras de agua y bebidas– han trasladado o ampliado sus operaciones en el acuífero de Nejapa.

Este fenómeno de desplazamiento de diversas industrias y proyectos económicos ha generado una condición de mayor presión sobre el acuífero, el cual ya presenta una disminución de sus niveles freáticos, que se expresa a través de diferentes estudios sobre el análisis de balances hidrogeológicos y del monitoreo de uno de sus pozos representativos (Pozo 6 de la ANDA).

Figura 8. Microcuenca de análisis Arenal Montserrat**Figura 9.** Cambios de usos de suelo en la microcuenca Arenal Montserrat

En la Figura 7 se presenta el monitoreo del Pozo Nejapa 6 para el periodo entre el 29 de marzo de 2010 y el 5 de diciembre de 2013. En la gráfica puede observarse que para el periodo de registros continuos entre diciembre de 2011 y diciembre de 2013 se obtienen las máximas recargas en el acuífero, alcanzando las elevaciones 444.25 metros sobre el nivel del mar (msnm) y 441.5 msnm, respectivamente, lo que significa una disminución de 2.75 m en dos años.

Desde la perspectiva de las aguas superficiales, los cambios de usos de suelo y avance de la urbanización generan un segundo problema en las ciudades: el incremento de la escorrentía superficial y caudales pico ante eventos meteorológicos extremos y aumento de las zonas de riesgo, principalmente en las zonas bajas.

2.3 Incremento del escurrimiento y generación de caudales pico en eventos hidrometeorológicos extremos en las zonas bajas de San Salvador

El efecto del incremento de los flujos y caudales pico en interrelación con los cambios en los usos del suelo que se venían experimentando en las zonas altas de recarga, empezó a ser estudiado a partir de los eventos hidrometeorológicos extremos que se experimentaron en los años recientes (2008-2011) y que significaron lamentables pérdidas en vidas humanas y materiales. Uno de los sucesos más memorables y trágicos fue el acontecido en la Colonia La Málaga el 3 de julio de 2008, tal como se ha comenta-

do anteriormente. Posterior a ese suceso dramático acontecieron nuevos desbordamientos en la Colonia La Málaga y en otros sectores de la ciudad como producto de la baja presión asociada al Huracán "Ida" (7 de noviembre de 2009), la tormenta tropical Agatha (mayo de 2010) y la depresión tropical 12 E. (octubre de 2011). De estos tres eventos, el de mayor magnitud y consecuencia fue el de 2009, que nuevamente causó niveles de desbordamientos y volúmenes de agua superiores a los del evento de 2008.

En el año 2010, el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) –hoy Observatorio Ambiental del MARN– llevó a cabo un análisis mediante modelación hidrológica sobre las crecidas máximas registradas en los eventos de 2008 y 2009, en los puntos de control Avenida Revolución (1), La Málaga (2) y Puente Belloso (3), tal como se observa en la Figura 8. La misma representa la microcuenca del AMSS, denominada Arenal Montserrat, la cual posee sus zonas altas en el Volcán de San Salvador y las partes bajas en la zona céntrica de la capital, donde se ubica el barrio La Málaga. El estudio consistió en comparar los hidrogramas de los caudales generados para dichos eventos con los caudales generados mediante modelación hidrológica para las mismas condiciones meteorológicas, pero con los usos del suelo del año 1992.

En la Figura 9 puede observarse los cambios paulatinos de usos de suelo que se han experimentado desde 1992 hasta 2009, indicándose en círculos rojos las zonas de modificación en 1998, en círculos amarillos las zonas modificadas en 2001 y en círculos

los celestes las zonas modificadas en 2009. En general, entre 1998 y 2009 se urbanizó un total de 5.53 km² que antes era cobertura arbórea permanente.

En las figuras 10, 11 y 12 se presentan los resultados obtenidos para los tres puntos de control. En los mismos puede observarse una anticipación en los tiempos bajo los cuales se experimenta el caudal punta, y una amplificación notable de los mismos bajo las condiciones actuales de menor cobertura vegetal.

En la Figura 10 se presentan el caudal calculado con los actuales usos del suelo de 14.8m³/s vs. el caudal simulado para los usos del año 92 de 10.78 m³/s.

En la Figura 11 se presenta los caudales calculados en el punto donde ocurrió la tragedia de 2008.

En ese punto, el área de la cuenca es de 40.95 km² y la urbanización fue de 5.20 km² equivalente a 12.70%.

Los caudales se incrementaron en 10.5 m³/s representando un incremento de 74% del caudal pico con una reducción del tiempo de llegada de 30%.

Finalmente, en la Figura 12 se presentan los caudales calculados para la estación Beloso. La cuenca para ese punto de control es de 53.47 km² y la urbanización generada de 5.52 km² representa 10.33% del área. Se experimentó un incremento de 16 m³/s equivalente a 98% del caudal pico, y una reducción de 40% del tiempo de llegada.

2.4 Evaluación, ubicación y uso en zonas urbanas de las principales fuentes de agua, superficiales y subterráneas a nivel nacional

El abastecimiento de agua a las zonas urbanas o poblaciones de mayor densidad se lleva a cabo a través de la captación de agua superficial en ríos o manantiales y a través de la extracción mediante pozos situados en las principales zonas de acuíferos del país. La Figura 13 representa el mapa hidrogeológico actualizado del país (MARN-SNET, 2002), aunque el mismo fue determinado a partir de los estudios PNUD-ANDA1972 y PLANDARH 1982. La coloración azul representa los acuíferos interiores en el entorno de la cadena volcánica central conformado por materiales piroclásticos y de moderada a alta productividad hídrica. La coloración azul morada expresa los acuíferos conformados por depósitos aluviales que se presentan en la franja costera y en el entorno de zonas fluviales, embalses y humedales. La coloración

Figura 10

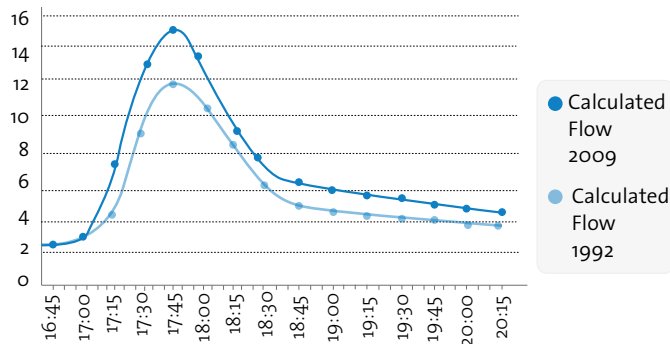


Figura 11

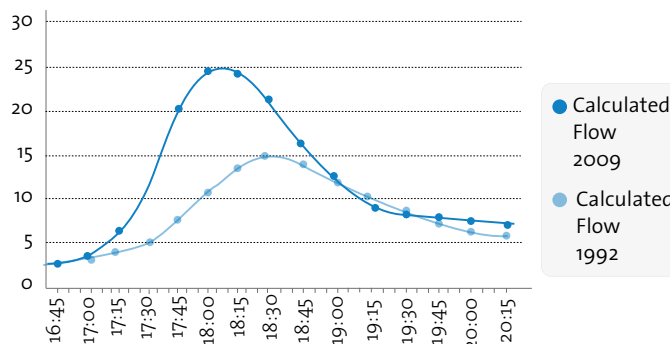
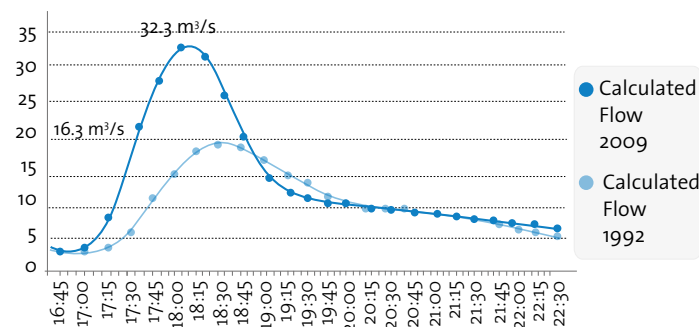


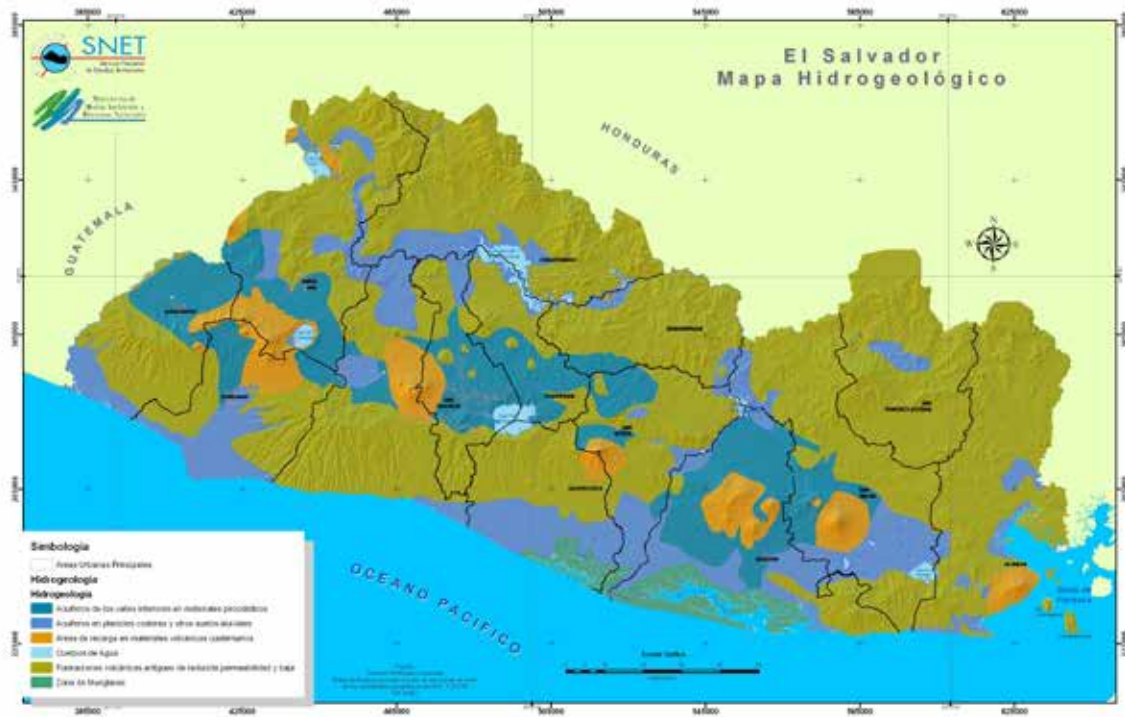
Figura 12



anaranjada constituye zonas de recarga hídrica que se presentan especialmente en las estribaciones volcánicas.

Los acuíferos pertenecientes al entorno de la cadena volcánica tienen una función estratégica, ya que son los que se encuentran próximos a las principales ciudades del país (AMSS, Santa Ana y San Miguel). Sin embargo, en las últimas décadas han

Figura 13. Mapa Hidrogeológico de El Salvador



incrementado su vulnerabilidad debido a la mayor presión sobre el recurso hídrico y los efectos de la contaminación procedente de las áreas urbanas. Los acuíferos situados en la planicie costera han tenido históricamente una menor explotación para el abastecimiento de zonas urbanas, aunque han desempe-

ñado un importante rol en el abastecimiento de la población local rural y en zonas de cultivo mediante riego. Sin embargo, uno de los problemas e impactos que éstos han experimentado ha sido la presencia de trazas de contaminantes provenientes del uso intensivo de agroquímicos, principalmente en grandes plantaciones agrícolas de algodón y caña de azúcar desde los años 50. Por otro lado, se han presentado puntos focalizados de intrusión marina, lo que genera una menor disponibilidad del agua en cuanto a la calidad. Uno de los acuíferos de mayor importancia estratégica en la zona costera es “El Jocotal” y “Olomega”, ubicado en el extremo sur-oriental del país, pues el mismo, a diferencia de otras zonas costeras, se encuentra confinado al sur por las cordillera ‘Jucuarán-Intipucá-Conchagua’ lo que lo aísla de la interacción con las dinámicas marinas, posibilitando su conservación como agua enteramente dulce. Por otro lado, no ha estado tan expuesto a la contaminación directa por efecto de plaguicidas y agroquímicos en el pasado, debido a que se encuentra en una zona natural protegida, sitios “Ramsar” y de conservación de especies, conformado por las lagunas de Olomega y el Jocotal. Sin embargo, su vulnerabilidad se presenta por los efluentes contaminantes que

Figura 14. Ubicación de las formaciones acuíferas a nivel nacional cuya nomenclatura corresponde a la indicada en la Tabla 1



Tabla 1. Formaciones Acuíferas de El Salvador de acuerdo a la categorización (PNUD-ANDA, 1972)

Cod	Name of acuífer	Hydrogeological characterization	Extension Km ²	Thick Ness m	Annual recharge m ³ /year x 10 ⁶
A-1	Singüil	Piroclastos cuaternarios redepositados	24	30	7,00
A-2	Texistepeque	Piroclastos cuaternarios redepositados	40	40	10,00
A-3	Santa Ana-Chalchuapa	Lavas cuaternarias y piroclastos	200	80	90,00
A-4	Aguilares	Piroclastos cuaternarios redepositados	60	60	30,00
A-5	Coatepeque	Piroclastos cuaternarios	45	60	23,00
A-6	San Salvador	Lavas cuaternarias y piroclastos	160	100	42,00
A-7	Zapotitán	Depósitos piroclásticos y sedimentos lacustres	200	100	200,00
A-8	Quezaltepeque-Nejapa	Lavas cuaternarias y piroclastos	130	60	100,00
A-9	San Vicente	Lavas cuaternarias y piroclastos	100	100	55,00
B-1	Chalchuapa-Ahuachapán	Lavas cuaternarias y piroclastos	250	80	114,00
B-2	Omoa	Piroclastitas cuaternarias y lavas intercaladas	100	60	9,00
C-1	Paz-Acajutla	Depósitos sedimentarios aluviales	185	60	81,00
D-1	Izalco	Lavas cuaternarias y piroclastos	160	40	55,00
D-2	Sonsonate	Lavas cuaternarias y piroclastos	300	40	143,00
D-3	San Julián	Lavas cuaternarias y piroclastos	20	20	41,00
E-1	Libertad-Comalapa	Depósitos sedimentarios aluviales	85	40	30,00
F-1	Comalapa-Lempa	Depósitos sedimentarios aluviales y piroclastitas cuaternarias	400	60	418,00
F-2	Ilopango	Piroclásticos cuaternarios	40	100	20,00
G-1	Lempa-Usulután	Sedimentos costeros, piroclastitas cuaternarias y lavas	450	100	298,00
H-1	Usulután	Piroclásticos cuaternarios	150	100	200,00
H-2	El Jocotal	Lavas y depósitos sedimentarios aluviales	130	60	100,00
H-3	San Miguel	Lavas cuaternarias y piroclastos	150	100	57,00
H-4	Olomega	Depósitos aluviales	100	60	30
H-5	Quelepa	Lavas cuaternarias y piroclastitas	150	60	30

pueden provenir del Río Grande de San Miguel, el cual interactúa directamente con esa zona acuífera.

En la Tabla 1 se presentan los diversos acuíferos existentes en el país y su ubicación se expresa en el mapa de la Figura 14. Los acuíferos de Santa Ana-Chalchuapa y San Miguel son los que abastecen mayoritariamente, en el orden de 80%, a esas dos ciudades (Santa Ana con 560 mil habitantes y San Miguel con 470 mil habitantes), las cuales constituyen la segunda y tercera ciudades y departamentos en importancia del país, después de San Salvador y el AMSS.

El acuífero de San Salvador es el principal de explotación para el suministro de aguas urbanas en el país. Sus extracciones representan aproximadamente 33% del agua suministrada a la capital. Por otra parte, el acuífero de Quezaltepeque-Nejapa cumple la función primordial de suministrar un estimado de 21% hacia la capital.

Las aguas superficiales constituyen la otra fuente estratégica de abastecimiento para diferentes ciudades y poblaciones de menor densidad en el país. La principal fuente de agua superficial es la captación y estación depuradora en el Río Lempa conocida como “Las Pavas”. La misma capta un caudal estimado de 2 m³/s para el abastecimiento del AMSS y representa aproximadamente 38% del suministro de agua a la capital. Otra vertiente de importancia para el suministro de agua es el Río Tamulasco ubicado en el departamento de Chalatenango. En el mismo, la ANDA tiene instalada una estación de captación y depuración para el abastecimiento de la cabecera departamental prestando el servicio a más de 50 mil habitantes.

Uno de los problemas que ha presentado el aprovechamiento de las aguas superficiales ha sido su disponibilidad, tanto en cantidad como en calidad. En cuanto a la cantidad, las aguas superficiales en

el país se encuentran en franco detrimento en las últimas décadas, debido a la disminución paulatina de los caudales base, principalmente en la época seca. Esta situación fue ampliamente estudiada por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales SNET-

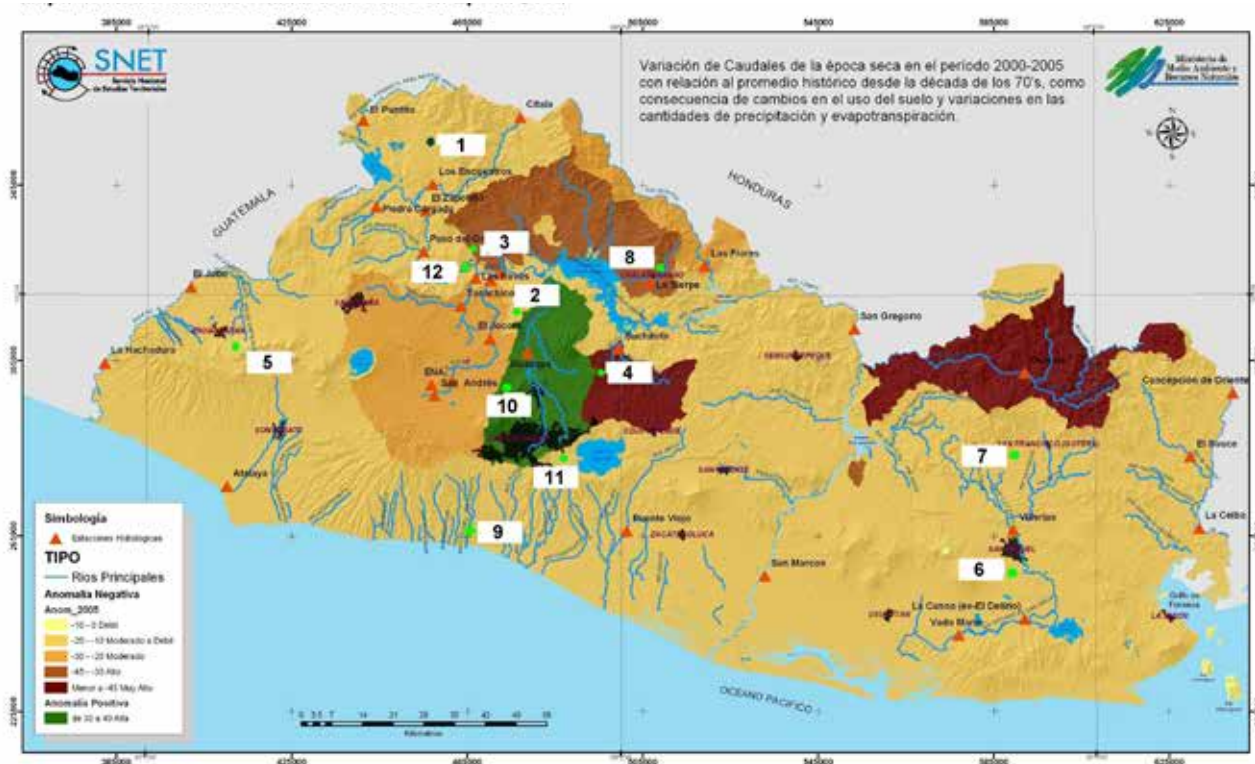
MARN (2005). A partir del mismo se determinó que gran parte de los principales ríos en el país estaban disminuyendo sus caudales base principalmente en la época seca, de tal forma que muchos de ellos se podían transformar a mediano plazo en meros dre-

Tabla 2. Fuentes de agua superficial y aforos realizados por la ANDA (2009-2013)

No	Surface water source	Name	Municipality or Population	Date	Department	Flow Rate (l/s)
1	River	El Rosario	Metapán	Feb. 2012	Santa Ana	12.23
	River (Upstream from water intake)	El Rosario	Metapán	15 Jan. 2013	Santa Ana	147.97
	Rio (Downstream from water intake)	El Rosario	Metapán	15 Jan. 2013	Santa Ana	64.08
2	Spring (upstream)	Caballeros	Aguilares	08/March 2012	San Salvador	10.34
	Spring (outflow)	Caballeros	Aguilares	08/March 2012	San Salvador	5.45
	Spring (upstream)	Caballeros	Aguilares	07/Dec. 2012	San Salvador	11.17
	Spring (outflow)	Caballeros	Aguilares	07/Dec. 2012	San Salvador	1.74
3	Spring	El Chaguitón I (Total Flow)	Nueva Concepción	27/March 2012	Chalatenango	31.64
	Spring	El Chaguitón I (Outflow)	Nueva Concepción	27/March 2012	Chalatenango	16.39
	Spring	El Chaguitón I (Total Flow)	Nueva Concepción	7/Jun. 2013	Chalatenango	22.73
	Spring	El Chaguitón I (Total Flow)	Nueva Concepción	7/Jun. 2013	Chalatenango	3.88
4	Spring	El Molino	Suchitoto	11/April 2012	Cuscatlán	29.70
	Spring (outflow)	El Molino	Suchitoto	11/April 2012	Cuscatlán	3.87
5	Spring	El Cashal I y II	Ahuachapán	June 2009	Ahuachapán	10
	Spring	El Cashal I y II	Ahuachapán	June 2009	Ahuachapán	1.73
	Spring	El Cashal I y II	Ahuachapán	May. 2012	Ahuachapán	12.11
	Spring (total flow)	Apunián	Ahuachapán	22 Feb. 2013	Ahuachapán	787.41
	Spring (outflow)	Apunián	Ahuachapán	22 Feb. 2013	Ahuachapán	638.88
6	River	El Jute	San Miguel	24/May 2012	San Miguel	192.89
	River	El Jute downstream from ANDA plant	San Miguel	24/May 2012	San Miguel	178.32
7	Spring	El Borbollón	San Francisco Gotera	16/May 2012	Morazán	21.51
8	River(upstream from water intake)	Tamulasco	Chalatenango	January 2009	Chalatenango	126.4
	River(downstream from water intake)	Tamulasco	Chalatenango	January 2009	Chalatenango	49.1
	River(upstream from water intake)	Tamulasco	Chalatenango	March 2009	Chalatenango	74.8
	River(downstream from water intake)	Tamulasco	Chalatenango	March 2009	Chalatenango	0.81
	River(upstream from water intake)	Tamulasco	Chalatenango	16 April 2013	Chalatenango	37.44
	River(downstream from water intake)	Tamulasco	Chalatenango	16 April 2013	Chalatenango	7.62
9	River(upstream from water intake)	Chilama	La Libertad	January 2009	La Libertad	217.3
	River(downstream from water intake)	Chilama	La Libertad	January 2009	La Libertad	130.5
	River(upstream from water intake)	Chilama	La Libertad	March 2009	La Libertad	134.3
	River(downstream from water intake)	Chilama	La Libertad	March 2009	La Libertad	62
10	River	San Antonio (before the origin of inflow Tres Piedras)	Nejapa	March 2009	San Salvador	60.8
	River	San Antonio (after the origin. Tres piedras)	Nejapa	March 2009	San Salvador	208.7
	Spring	Tres piedras (inflow of Río San Antonio)	Nejapa	13 March 2014	San Salvador	56.96
11	River	Cuaya (water intake)	Ilopango	January 2009	San Salvador	130
	River	Cuaya (water intake)	Ilopango	Feb. 2009	San Salvador	77.3
12	River	Lempa (Las Pavas)	San Pablo Tacachico	Feb. 2009	La Libertad	815

Fuente: Elaboración propia con base en el programa de aforos realizados por la ANDA (2009-2013).

Figura 15. Mapa de variación de caudales y ubicación de los aprovechamientos superficiales cuya numeración corresponde a la indicada en la Tabla 2



najes naturales en la época lluviosa. Este problema se atribuyó primordialmente a la falta de protección, conservación de suelos y de cobertura arbórea en varias cuencas hidrográficas del país y a la variación hidrometeorológica, de tal forma que se ha dado una pérdida paulatina de la capacidad de infiltración y regulación del flujo subsuperficial que es el que mantiene los nacimientos y fuentes de agua como flujos tributarios de los ríos. El estudio llevó a cabo una clasificación con base en “niveles de anomalía”, estableciendo precisamente para el Río Tamulasco una de las situaciones más críticas con un nivel de anomalía considerado como “muy alto”, pues el río estaba perdiendo aceleradamente sus caudales en la época seca, de tal forma que se debían implementar acciones urgentes en el marco de la gestión integrada de los recursos hídricos en su cuenca alta, más aún cuando depende del mismo el abastecimiento de un importante centro poblacional.

En la Tabla 2 se presenta la información comparativa de aforos realizados por la ANDA en algunos de los principales nacimientos, ríos y puntos de captación como aprovechamiento de agua superficial, tan-

to aguas arriba como aguas abajo de la toma de agua para el mismo día. Al respecto puede verificarse que los niveles de extracción superan en muchos casos 50% de la disponibilidad, alcanzando incluso aprovechamientos superiores a 80% de la disponibilidad hídrica, tal como es el caso del Río Tamulasco para los meses más secos del año (febrero y marzo), lo que reduce significativamente los caudales base o caudales ambientales que se requieren para mantener el equilibrio ecológico de los sistemas fluviales. Esta misma situación se refleja en las extracciones de algunos meses para varias fuentes de captación (Suchitoto, Nueva Concepción, Aguilares y Ahuachapán).

En el mapa expresado en la Figura 15 se presenta la ubicación de algunos de los nacimientos o fuentes de agua superficial más importantes a nivel nacional. En el mismo se ilustra en coloración café claro y café oscuro las zonas de moderado y mayor nivel de anomalía en cuanto a reducción de los caudales en la época seca. La coloración en verde significa un incremento de los caudales, debido a que la cuenca del Río Acelhuate es una cuenca urbana que drena los flujos de aguas residuales y tratadas del AMSS,

el cual ha presentado un incremento en las dos últimas décadas.

Desde la perspectiva de la calidad de las aguas, el país cuenta con un programa de monitoreo (Calidad de Aguas-2011) que se viene ejerciendo desde el año 2005, a través del Observatorio Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). El monitoreo se lleva a cabo en 123 puntos de muestreo de 55 ríos en el país, los cuales son de gran importancia por sus diferentes usos ambientales consistentes en agua para consumo humano, riego, recreación, mantenimiento de vida acuática, etcétera. Para su evaluación utiliza el Índice de Calidad de Agua (ICA) formulado con un puntaje entre 0 y 100 y elaborado con base en normativas nacionales sobre calidad del agua y directrices de la OMS. De acuerdo a los resultados obtenidos para el año 2011, 88% de los ríos presentan una calidad ambiental entre regular y pésima, tal como se presenta en los registros históricos formulados de calidad del agua en los ríos expresados en la Tabla 3. De acuerdo al informe, la principal causa de contaminación de la mayoría de los ríos es la debida a aguas residuales domésticas sin tratamiento y falta de saneamiento básico, lo cual se evidencia con la presencia de altas concentraciones de coliformes fecales cuyos valores máximos alcanzan los 3,5 millones de bacterias/100 ml y DBO₂ hasta de 122 mg/l, con la consecuente reducción del oxígeno disuelto.

En lo que respecta a la viabilidad de usos para su depuración y potabilización mediante métodos convencionales, el monitoreo reportó que apenas 23 de los 123 sitios evaluados –correspondiente a 17%– cumplen con los requerimientos de acuerdo a la normativa del Decreto 51 “Reglamento sobre la calidad del agua, control de vertidos y zonas de protección”, para ser potabilizados por medio de métodos convencionales.

Tabla 3. Nivel de calidad del agua en los principales ríos de El Salvador

Environmental Quality	Percentage of Sites				
	2006	2007	2009	2010	2011
Excellent	0	0	0	0	0
Good	17	3	0	2	12
Regular	50	45	60	65	50
Bad	20	46	31	27	31
Very bad	13	6	9	6	7

Fuente: Informe de calidad de agua 2011, MARN.

En el mapa expresado en la Figura 16 se presenta la ubicación de los sitios de toma de muestras y el nivel de calidad obtenida, expresándose en azul los sitios de calidad buena, y con coloración gris, amarilla y roja, los sitios que presentan calidad regular, mala y pésima, respectivamente.

Es importante destacar que la calidad del agua en los tramos del Río Lempa, anteriores a la estación de captación y depuradora “Las Pavas”, presentan calidades entre regular y mala, lo cual supone mayores costos de depuración para la ANDA en la producción estratégica de ese sistema para el abastecimiento del AMSS.

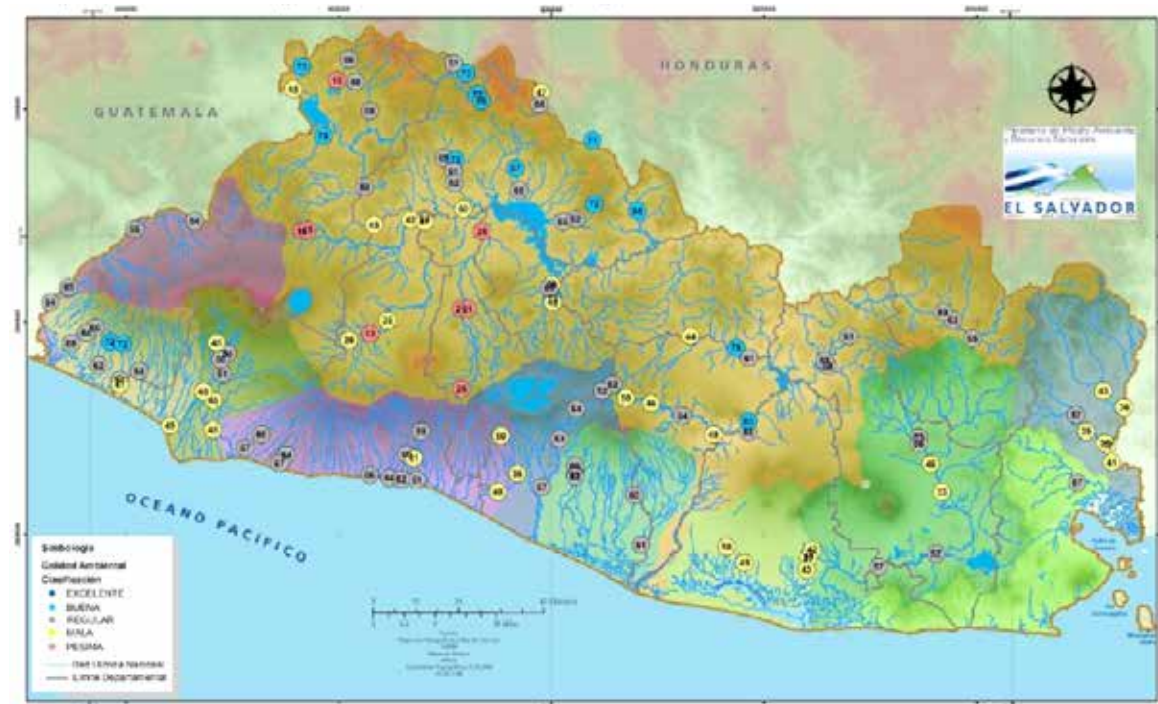
3. Servicio de agua potable en zonas urbanas

El servicio de agua potable a la población lo ejerce en todo el país la Administración Nacional de Acueducto y Alcantarillado (ANDA), la cual es una entidad autónoma de carácter público y constituida por decreto de Ley desde 1961 para proveer y garantizar el servicio de agua potable a la población y el servicio de evacuación y disposición final de las aguas residuales. Dicha entidad es la encargada de llevar a cabo los proyectos y programas dirigidos a la construcción y ampliación de la infraestructura de acueductos, alcantarillados y sistemas de tratamiento de aguas residuales, así como la gestión de los mecanismos de financiación necesarios para dar cumplimiento a los objetivos de la institución. Entre otros aspectos, tiene a su cargo elaborar y hacer efectivas las normas técnicas para los diseños y construcción de proyectos hidráulicos, emitir autorizaciones de explotación o “constancias de no afectación”, desarrollo de estudios hidrogeológicos para la explotación de fuentes subterráneas, potabilización y control de calidad de las aguas en los puntos de extracción, captación y red de distribución, e implementación de tarifas de consumo de agua.

3.1 Características del proceso de descentralización, situación actual y producción de agua y consumo a nivel nacional

Entre los años 2001 y 2004 a través de la Unidad de Descentralización de la ANDA, se discute precisamente el proceso de descentralización (SAC-

Figura 16. Mapa de red de monitoreo y calidad del agua a nivel nacional



DEL-2005), el cual posteriormente empieza a implementarse confiéndole la administración de una pequeña parte del servicio a diversas municipalidades o entidades locales mediante la figura jurídica de Asociaciones Municipales, microregiones o empresas mixtas (municipales-privadas y comunitarias) principalmente en el área rural. Este proceso se concibió, sin perjuicio en las obligaciones de ley de la ANDA, pues la entidad seguía siendo la titular y propietaria de los activos, pero trasladaba la administración local del recurso a estos nuevos operadores, con el acuerdo de acompañamiento técnico, asesoría, capacitación de personal encargado y gestión compartida para la financiación del desarrollo y mantenimiento de la infraestructura, de tal forma de ejercer una operación sostenible del nuevo modelo de gestión.

De esta forma, la ANDA podía desligarse de la gestión directa en zonas rurales que le implicaban gran inversión de recursos administrativos, técnicos y logísticos, y por otra parte, seguiría percibiendo ingresos establecidos y acordados con los nuevos operadores, en función de la facturación local del abastecimiento de agua y alcantarillado.

En el año 2009 (ANDA, 2009), de los 262 municipios que componen el país la ANDA, con su capacidad instalada, atendió a 122 municipios con agua potable, lo cual representa 46.6% del total de municipios; 45 municipios que equivalen a 17.2% fueron atendidos a través de operadores descentralizados y 36.2% (95 municipios) fue abastecido por otros operadores. En general, esta distribución espacial en el territorio no es correspondiente con la distribución en cuanto a densidad de población y especialmente en cuanto a producción de agua, ya que históricamente los operadores descentralizados y otros operadores autoabastecidos únicamente producen conjuntamente en promedio entre 5 y 6% de la producción de agua a nivel nacional. De acuerdo a datos generales, de una producción anual a nivel nacional de 366 millones de m³ en promedio, los operadores descentralizados cooperan con 20 millones de m³, tal como se verá más adelante. Sin embargo, ejercen una función primordial, ya que el servicio lo llevan a cabo en muchos municipios rurales categorizados con un nivel de pobreza de moderada a alta y las tarifas se encuentran ajustadas a las posibilidades económicas de la población en el orden de 0,20 a 0,70 US\$/m³, contribuyendo grandemente a combatir la especula-

ción y abusos por parte de vendedores intermediarios a través de carros o camiones cisterna que antes lo hacían a través de la venta de “barriladas” con un precio equivalente a 10.00 US\$/m³.

A partir del año 2012 empieza a revertirse el proceso de descentralización, aduciendo por parte de ANDA que los operadores descentralizados ejercen una gestión con baja eficiencia y capacidad técnica-administrativa, lo que incurre en un incremento de costos y bajos ingresos a la institución. Este desmontaje de la institucionalidad local ha traído serios conflictos y rechazos a dicha medida, ya que no sólo implica la reversión de una gestión administrativa, sino además el impacto directo en la formación de la organización comunitaria y municipal, que fue configurando el empoderamiento de nuevos actores sociales en el desarrollo local a lo largo de la última década.

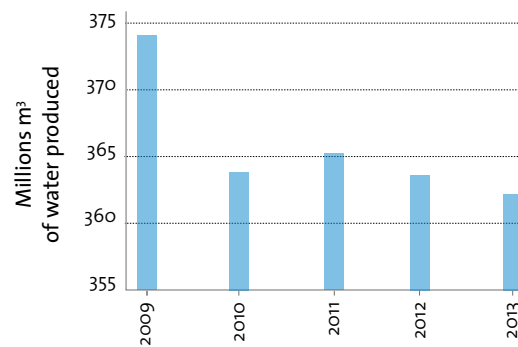
Precisamente, uno de los aspectos que prevaleció en la discusión política en los años precedentes a su implementación fue la importancia y valoración de la medida en orden a fortalecer y desarrollar la participación ciudadana, municipal y comunitaria en el área rural, principalmente en lo concerniente a la toma de decisiones, y el desarrollo de responsabilidades en la gestión del recurso hídrico y trabajo organizado en torno a un servicio esencial para la población.

En una evaluación inicial del proceso de descentralización en el año 2005, efectuado por RTI Internacional (Moncada, 2005), y citado en el análisis efectuado por SACDEL, se atribuye como uno de los logros más importantes del proceso llevado a cabo por la ANDA, “el desarrollo de los recursos humanos a nivel local, el respeto a los derechos de los usuarios y una mayor conciencia sobre la necesidad de proteger los recursos hídricos”.

Para el año 2012 el aporte de las unidades descentralizadas fue de 16.4 millones de m³, y para el año 2013, de 9.4 millones de m³, representando 2.4% del agua producida a nivel nacional. De acuerdo con la memoria de rendición de cuentas de la ANDA 2009-2014, seis de las más importantes unidades descentralizadas han vuelto a ser retomadas desde 2012 por la institución, generando en ese año un incremento en su gestión de US\$85,100.00. Aunque a la fecha todavía es muy pronto para evaluar los incrementos esperados de este nuevo proceso de centralización, en cuanto a la eficiencia y rendimientos en el servicio por parte de la institución, en la Tabla 4 puede observarse que para los años 2012 y 2013 los niveles de

producción y consumo a nivel nacional se han mantenido en términos generales prácticamente invariables o, incluso, han experimentado una disminución en relación a años precedentes tal como se ilustra en la Figura 17. No ocurre así con las pérdidas por fugas o conexiones ilegales, las cuales han experimentado un paulatino incremento entre 2008 y 2011.

Figura 17. Producción de agua a nivel nacional



3.2 Capacidad financiera de la ANDA en relación con la producción y con las pérdidas por fugas o conexiones ilegales a nivel nacional

Una de las fortalezas de la institución ha sido, a diferencia de otras entidades del Estado o ministeriales, que la parte mayoritaria de sus ingresos y del presupuesto asignado se constituye a partir de la facturación directa que ejerce por la prestación del servicio, de tal forma que no depende únicamente de una partida proveniente del fondo nacional de la nación para su operación y funcionamiento, aunque la misma siempre se brinda interanualmente como parte del refuerzo presupuestario, ya que de acuerdo al pliego tarifario, el servicio se ejerce de forma subsidiada en función de los niveles de consumo. El presupuesto asignado se conforma, además, por préstamos para inversión, montos no reembolsables, financiamiento de la cooperación internacional, etcétera.

Así es en función del presupuesto total asignado que se planifican los objetivos interanuales en términos de agua y saneamiento, mejora en los servicios, mantenimiento y rehabilitación, incremento de la cobertura, etcétera.

En la Tabla 5 puede observarse que entre los años 2008 y 2013 los ingresos por facturación han tenido un incremento importante, lo cual se atribuye a una

serie de acciones relacionadas a la modernización del sistema de facturación, apertura de sucursales y puntos *express* de cobro ágil y accesible a los usuarios, mejoras en los servicios de atención al cliente, actualización e informatización con la implementación de nuevos y mejores paquetes informáticos *software* para el manejo de la base de datos, implementación de computadoras portátiles *handheld* para la lectura de medidores y mejor control de dotaciones de agua servidas, fugas y conexiones ilegales; mejor gestión en la recuperación de moras, incremento de la eficiencia en las tareas operativas y logísticas de mantenimiento y reparaciones de líneas de conducción y acometidas domiciliarias y ampliación del servicio por nuevos usuarios, etcétera.

Por otra parte, en algunos años se ha visto fortalecida la asignación presupuestaria con refuerzos provenientes del fondo nacional y a través del financiamiento de préstamos y montos de inversión provenientes de la cooperación internacional, principalmente en aquellos años afectados por eventos meteorológicos extremos que han generado daños o

desastres en los sistemas de conducción y distribución de agua y alcantarillado. Un año que se destaca al respecto ha sido 2009, en el cual se experimentó el Huracán Ida, afectando extensas zonas del país. En general puede observarse que el presupuesto total ejecutado ha tendido a incrementarse entre los años 2009 y 2011.

Un aspecto relevante es que pesar de todos los esfuerzos e incrementos significativos en la ejecución presupuestaria interanual, la producción de agua a nivel nacional se ha mantenido prácticamente invariable o incluso ha experimentado una disminución, tal como se muestra en la Tabla 5 alcanzando su punto de mayor eficiencia en el año 2009 y el de más bajo rendimiento de los años disponibles en 2011, pues no se dispone actualmente de la información correspondiente al año 2012.

A partir de los reportes institucionales y tomando en cuenta los fondos destinados para emergencias por eventos hidrometeorológicos, algunos de los aspectos atribuibles a esta situación son los altos precios de la energía y la necesidad de incrementar

Tabla 4. Comparativo entre la producción y el consumo de agua a nivel nacional (millones de m³)

Año	Producido por la ANDA	Producción otros sistemas descentralizados	Total de agua producida a nivel nacional	Consumo del sistema de la ANDA a nivel nacional	Consumo de operadores descentralizados y autoabastecidos a nivel nacional	Total consumida	Pérdida por fugas o conexiones ilegales	% de pérdidas
2008	351.1	20.8	371.9	206.2	35.6	241.8	144.9	41.3
2009	353.4	20.3	373.7	202.4	36.9	239.3	151	42.7
2010	341.4	23.3	364.7	187.5	39.1	226.6	153.9	45.1
2011	345.7	20.4	366.1	179.8	39.7	219.5	165.9	48.0
2012	348.3	16.4	364.7	nd	nd	nd	nd	nd
2013	353.6	9.4	363	186.5	35.9	222.4	167.1	47.3

Fuente: elaboración propia con base en boletines estadísticos ANDA-2008-2011 y memoria de labores ANDA-2013 y de rendición de cuentas ANDA-2009-2014. nd= información no disponible

Tabla 5. Producción de agua anual y montos presupuestarios ejecutados

Años	Facturación y otros ingresos comerciales (millones US\$)	Refuerzo presupuestario del fondo general de la nación, préstamos y cooperación internacional (millones US\$)	Presupuesto ejecutado total (millones US\$)	Agua producida a nivel nacional (millones de m ³)	Índice de relación entre presupuesto ejecutado y agua producida (US\$/m ³)
2008	81.1	52.3	133.4	371.9	0.36
2009	80.1	13	93.1	373.7	0.25
2010	102.8	14.6	117.4	364.7	0.32
2011	102.8	64.5	167.3	366.1	0.46
2012	nd	nd	nd	364.7	nd
2013	110.1	25.7	135.8	363	0.37

Fuente: elaboración propia con base en boletines estadísticos ANDA-2008-2011 y memoria de labores ANDA-2013 y de rendición de cuentas ANDA-2009-2014.

la eficiencia energética en los sistemas de bombeo, plantas de potabilización y abastecimiento de agua, pues los costos se han elevado significativamente en los últimos años. Al respecto se han iniciado convenios y acuerdos interinstitucionales con la entidad nacional de generación hidroeléctrica –Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL)– con el fin de convenir precios de distribuidora de energía y no de grandes consumidores. Otro aspecto ha sido la erogación de fondos destinados a la inversión en la apertura de nuevos pozos (26) y la rehabilitación de pozos antiguos (45) que habían estado en desuso desde hace muchos años. Por otra parte, la modernización en los sistemas de facturación, control de fugas, uso de instrumentos portátiles en la toma de lectura de medidores, implementación de paquetes informáticos de mayor capacidad para la gestión administrativa e inversión en recurso humano han sido otros de los factores que han implicado mayores inversiones presupuestarias en los últimos años. Finalmente puede destacarse un incremento sensible en los fondos destinados a la desinfección del agua cruda extraída de los pozos profundos y fuentes superficiales con el fin de volverla potable. De acuerdo a registros de la institución, para el año 2009 se utilizaron 1.5 millones de libras de cloro (cloro gaseoso e hipoclorito de calcio) a un costo de US\$1.02 millones; sin embargo, para el año 2011 se utilizaron 14.8 millones de libras de químicos a un costo de US\$3.24 millones, lo que refleja un incremento de 300% en los costos necesarios para la purificación de la misma o incluso menor cantidad de agua.

Este hecho es de gran preocupación por cuanto refleja un indicativo de la contaminación paulatina del recurso o baja calidad del agua cruda que la institución requiere potabilizar, tal como se indicó anteriormente con respecto a los resultados obtenidos del

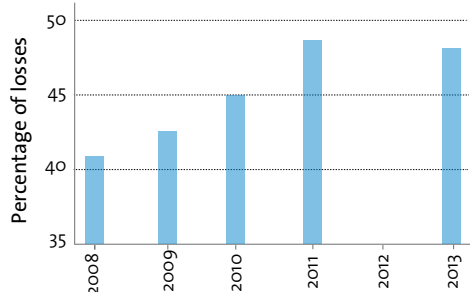
monitoreo de calidad de agua, en los tramos del Río Lempa antecedentes a la estación “Las Pavas”.

Por otro lado, las fugas en el sistema de distribución de agua han representado históricamente un significativo problema para la institución, las cuales se consideran entre moderadas y altas estimándose para 2013 un valor de 47.3% a nivel nacional, tal como se presentó en la Tabla 4. En la Figura 18 puede observarse que este valor se ha venido incrementando paulatinamente, aunque ha experimentado una ligera disminución este último año, lo cual está asociado a los esfuerzos y mejoras que la ANDA desarrolla en el marco de diversos programas de mantenimiento preventivo y correctivo de las redes de acueducto y alcantarillado a nivel nacional. Estos programas han permitido corregir desperfectos ocasionados principalmente por la antigüedad de las tuberías. A nivel nacional se reporta que se llevaron a cabo para el año 2013, 51 mil 257 reparaciones de las cuales 46 mil 794 (91.72%) fueron hechas en redes y acometidas de acueducto, y 4 mil 463 (8.7%) en redes de alcantarillado sanitario.

3.3 Fuentes de suministro de agua para el área metropolitana, volúmenes de producción y consumo, y situación de las pérdidas por fugas y conexiones ilegales

Con respecto a la región metropolitana (AMSS), la ANDA posee cuatro sistemas o fuentes primordiales de producción de agua: 1) Las Pavas, la cual constituye una fuente superficial de agua cuya captación se encuentra en el principal río del país, el Río Lempa, y en el cual se tiene actualmente una capacidad operativa de 2.2 m³/s. Este sistema constituye la principal fuente de agua superficial del país para consumo humano y se ubica a 44 km del AMSS. Representa aproximadamente 38% de la dotación actual a la capital. 2) Sistema Tradicional, el cual consiste en la producción mediante extracción de pozos profundos ubicados en el acuífero de San Salvador y representa un estimado de 33% del suministro de agua a la capital. 3) Sistema Zona Norte, el cual consiste en la producción mediante extracción por pozos profundos y se ubica en las estribaciones bajas al norte del Volcán de San Salvador (acuífero Nejapa-Quetzaltepeque-Opico), representando 21% del abastecimiento a la capital. Está localizado a un promedio de 18 km del

Figura 18



AMSS y tiene la importancia estratégica de su bajo nivel de contaminación y buena conservación de las zonas de recarga hídrica, que ha mantenido durante muchos años debido a la categorización de desarrollo restringido y escasa urbanización que experimentó en los años 80 y 90. Sin embargo, actualmente se encuentra bajo la presión de un nuevo escenario de desarrollo urbanístico habitacional e industrial y la desprotección de las zonas de recarga que antes eran restringidas, con la apertura de autopistas a principios de la década pasada y la recategorización en los usos del suelo, donde es frecuente observar a lo largo de las nuevas carreteras planteles logísticos, fábricas, embotelladoras, grandes áreas de techos y parqueos impermeabilizados, rótulos indicando la venta de terrenos con vocación industrial autorizados y, últimamente, el inicio de la construcción de un extenso complejo habitacional de alta densidad, totalmente incompatible a la función estratégica hídrico-ambiental de esa región. 4) Sistema Guluchapa, que es un sistema combinado mediante captación de fuentes superficiales y subterráneas ubicado en la zona sur-oriente de la capital en la región hidrográfica Guluchapa, cuya cuenca se extiende entre el Cerro San Jacinto y el Lago de Ilopango. El mismo representa en promedio 8% del abastecimiento

a la capital conjuntamente con el aporte minoritario del único operador descentralizado que contribuye al abastecimiento del AMSS. Este sistema muchas veces se contabiliza conjuntamente con el aporte del Sistema Tradicional, lo cual alcanza entre ambos 41%. En la Tabla 6 se presenta la producción de agua en millones de m³ proveniente de cada sistema al AMSS, a lo largo de los últimos 6 años. De nuevo puede verificarse que la producción ha tendido a disminuir en el periodo analizado.

En la Tabla 7 puede observarse la distribución por categorías de uso del consumo de agua entre los años 2004 y 2011, en la región metropolitana de San Salvador, verificándose una disminución paulatina del consumo total a lo largo del periodo analizado.

Para el sector residencial en el año 2011, el consumo se ha establecido en 88.9 millones de m³. De acuerdo a la categorización establecida por la ANDA, para ese año la clase baja consumió 38.2%, con un promedio de 11m³/mes; la clase media 41.2% con promedio de 30m³/mes, y la clase alta 20.6% con un promedio de 87m³/mes.

En la Tabla 8 puede observarse que el porcentaje de pérdidas por fugas en el AMSS presenta un comportamiento similar al del nivel nacional, pues las mismas han tendido a incrementarse a diferencia del

Tabla 6. Sistema de producción de agua para el abastecimiento de la Región Metropolitana (AMSS) administrados por la ANDA y otros sistemas (millones de m³)

año	Las Pavas	Sistema tradicional	Sistema zona norte	Guluchapa	Otros sistemas	Total
2008	75.7	64	40.4	11.1	0.6	191.8
2009	78	62.3	41.5	10.6	0.51	192.9
2010	75.6	63.7	37.9	10	0.44	187.6
2011	75	65.1	35.7	10.7	0.5	187.0
2012	70.5	*73.5	35.4	---	0.5	179.9
2013	70.5	60.6	38.3	13.9	0.51	183.8

Fuente: elaboración propia con base en boletines estadísticos ANDA-2008-2011, memoria de labores ANDA-2013 y de rendición de cuentas ANDA-2009-2014. nd= información no disponible. *Incluye sistema tradicional y Guluchapa.

Tabla 7. Cuadro resumen de consumo por categorías generales de la Región Metropolitana en sistemas administrados por la ANDA, explotación privada y operadores descentralizados (2004 - 2011) (Millones de m³/año)

Usuario	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Residencial	120.7	117.4	121	120.1	102.8	100	93.7	88.9
Industrial	1.9	1.7	1.4	1.3	3	2.6	2.2	2.4
Comercial	14.5	15.2	15.9	14.9	20.5	19	18.6	18
Sector público	8.3	8.5	8.7	8.5	8.8	9.3	8.3	8.2
Total	145.4	142.8	147	144.8	135.1	130.9	122.8	117.5

Fuente: boletines estadísticos de la ANDA.

Tabla 8. Comparativo entre la producción y el consumo de agua en el AMSS (millones de m³)

año	Producido por la ANDA	Producción otros sistemas descentralizados	Total producido	Total consumida	Pérdida por fugas o conexiones ilegales	% de pérdidas
2008	191.2	0.6	191.8	135.1	56.1	29.3
2009	192.4	0.51	192.9	131	61.4	31.9
2010	187.2	0.44	187.6	122.8	64.4	34.4
2011	186.5	0.5	187.0	117.5	69	37.0
2012	179.4	0.5	179.9	nd	nd	nd
2013	183.3	0.51	183.8	nd	nd	nd

Fuente: elaboración propia con base en boletines estadísticos ANDA-2008-2011 y memoria de labores ANDA-2013 y de rendición de cuentas ANDA-2009-2014. nd= información no disponible

Tabla 9. Condiciones de servicio de agua para consumo humano a nivel nacional para el año 2011

Description	Rural		Urbano		País	
	Familias	Porcentaje	Familias	Porcentaje	Familias	Porcentajes
Servicio de Agua						
Cañería	348565	63.05%	940137	90.42%	1288702	80.9%
cantarera	29073	5.26%	39037	3.75%	68110	4.3%
pozo artesanal	96440	17.44%	45420	4.37%	141860	8.9%
manantial	70083	12.68%	7047	0.68%	77130	4.8%
agua lluvia	6391	1.16%	6252	0.60%	12643	0.8%
Otros	2324	0.42%	1864	0.18%	4188	0.3%
total	552876	100.00%	1039757	100.00%	1592633	100.0%
Servicio de Baño						
Regadera	199008	36.0%	843272	65.4%	1042280	65.4%
Río o quebrada	57544	10.4%	6728	4.0%	64272	4.0%
Barril o Pila al aire libre	295506	53.4%	189674	30.5%	485180	30.5%
Otros medios	818	0.1%	83	0.1%	901	0.1%
Total	552876	100.0%	1039757	100.0%	1592633	100.0%

Fuente: elaboración propia con base en la EHPM-2011.

consumo que ha tendido a disminuir entre 2008 y 2011, sin que se conozcan las cifras de consumo para los años 2012 y 2013.

3.4 Cobertura de agua a nivel nacional en zonas urbanas y rurales

En cuanto al análisis de cobertura de abastecimiento de agua potable mediante tubería, y de acuerdo a la encuesta de hogares y propósitos múltiples para el año 2011, el área urbana posee 90.42% mientras que el área rural posee 63.05%. En la Tabla 9 puede verificarse los diferentes tipos de servicio de agua bajo los cuales se abastece la población a nivel urbano y rural.

3.5 Control de calidad de las aguas suministrada por la ANDA

La calidad de las aguas suministradas es otra temática de gran importancia en el consumo de agua potable a nivel nacional y desde la perspectiva de las aguas urbanas, especialmente en el AMSS.

La ANDA cuenta con un reconocido Laboratorio de Control de Calidad de Aguas el cual se encuentra acreditado ante el Organismo Salvadoreño de Acreditación (OSA) y bajo la norma internacional ISO/IEC 17025:2005, y se constituye en el referente nacional en el análisis de aguas residuales para la US/EPA. Algunas de las características en cuanto al cumplimiento del laboratorio de la Normativa Salvadoreña Obligatoria (NSO) son las siguientes (Laboratorio Calidad de Aguas, ANDA-2014):

Tabla 10. Condiciones de saneamiento a nivel nacional

Descripción	Rural		Urbano		País	
	Familias	Porcentaje	Familias	Porcentaje	Familias	Porcentajes
Serv. Sanitario						
Inodoro al alcantarillado	3255	0.6%	610983	59.0%	614238	38.6%
Inodoro a fosa séptica	72268	13.1%	137810	13.0%	210078	13.2%
Letrinas	425188	76.9%	284553	27.0%	709741	44.6%
No tiene	52165	9.4%	6411	1.0%	58576	3.7%
Total	552876	100.0%	1039757	100.0%	1592633	100.0%
Otros	2324	0.42%	1864	0.18%	4188	0.3%
Total	552876	100.00%	1039757	100.00%	1592633	100.0%

Source: Author, based on EHPM-2011

- Cumple a nivel nacional en 100% con respecto al número de muestras mínimas, normales y completas que exige la NSO para evaluar la calidad del agua; así como del monitoreo de acuerdo a la frecuencia, número de muestras y parámetros que son los requisitos sanitarios establecidos por la NSO de agua potable.
- En cuanto al número de parámetros por tipo de análisis se cumple con 100% de los parámetros que establecen las muestras mínimas. Sin embargo, se cumple con únicamente 65% de los parámetros (15 parámetros de los 23 que exige la NSO) que estipulan las muestras normales. Al respecto se tiene como meta a corto plazo el obtener 100% de cumplimiento.
- Se cumple únicamente con 66% de los parámetros (23 parámetros de los 35 que exige la NSO) que estipulan las muestras completas. Al respecto se tiene como meta a corto plazo el obtener 100% de cumplimiento.
- La gama de parámetros que actualmente el laboratorio no realiza corresponden principalmente a la categoría de metales pesados –Bario (Ba), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Mercurio (Hg), Antimonio (Sb), Selenio (Se), Boro (B) y Nitritos (NO₂)–, los cuales tienen gran significancia sanitaria de acuerdo a los criterios de la NSO. Sin embargo, actualmente se están llevando a cabo las gestiones necesarias para la adquisición de un equipo ICP/MASAS y para la actualización de los programas informáticos de los equipos de cromatografía y espectrometría de masas para análisis de plaguicidas. Al respecto, de igual forma se pretende incrementar el alcance en

las determinaciones analíticas de Plaguicidas Organoclorados, Organofosforados y metales pesados.

De acuerdo a reportes institucionales, la implementación de su propio laboratorio le ha posibilitado a la institución un mejor control y monitoreo de la calidad de agua que la población consume, con una inversión entre US\$360 mil y US\$400 mil al año, a diferencia de llevar a cabo la subcontratación de un laboratorio privado que significaría una erogación de fondos en el orden de US\$1.6 millones.

4. Tratamiento de agua en las ciudades

4.1 Cobertura de saneamiento y tratamiento de aguas residuales en las ciudades y a nivel nacional

El servicio de saneamiento en el país se ha caracterizado por presentar una marcada diferencia entre la cobertura urbana y rural, pues en las ciudades la cobertura de disposición de aguas negras mediante alcantarillado sanitario alcanza 59%, mientras en el área rural apenas es de 0.64%, pues la modalidad principal en esta área de disposición y tratamiento de excretas es mediante fosas sépticas (13.1%) y letrinas (76.9%), tal como se establece en la Tabla 10.

Aunque en las ciudades se tiene una cobertura mayoritaria de disposición mediante alcantarillado sanitario, existe una parte importante cuya disposición y tratamiento se ejerce a través de inodoro a fo-

sas sépticas (13%) y letrinas (27%), principalmente en zonas periurbanas y de escasos recursos económicos.

De acuerdo a valoraciones y análisis de experiencias en zonas marginales y periféricas, tal como lo expresa la Encuesta de Hogares y Propósitos Múltiples (EHPM-2010), apenas 24% de los sistemas de disposición unifamiliar de aguas residuales de lavar poseen un funcionamiento adecuado mediante pozos de absorción, pues la gran mayoría no posee pozo, y en muchos de los casos las aguas residuales crudas son vertidas a las calles sin ningún tratamiento, o bien, el sistema en su conjunto funciona de manera deficiente de tal forma que los mismos no cumplen con los estándares requeridos de remoción de los constituyentes de las aguas residuales, contribuyendo grandemente a la contaminación de las aguas subterráneas, superficiales, suelos y alimentos, principalmente a través de la generación de microorganismos patógenos y la consecuente afectación a la salud de la población.

En el AMSS no se posee un sistema integral de tratamiento de aguas residuales de la ciudad, sino que el mismo se lleva a cabo mediante algunas plantas de tratamiento en complejos residenciales y otros sistemas particulares, los cuales no alcanzan a tratar de manera conveniente la totalidad de las aguas residuales de la ciudad, funcionando muchos de ellos con una baja eficiencia. De acuerdo al estudio realizado por el Centro para la Defensa del Consumidor (Quiñonez, 2014) la evaluación realizada desde organismos internacionales como el Banco Mundial, para el año 2007, asignaban al país un bajo nivel de

tratamiento de aguas residuales en el orden de 3%. El estudio sostiene, en cuanto a la inversión en el sector, que actualmente no se tiene establecida claramente una asignación de fondos, pues la misma se lleva a cabo de manera general dirigida al sector de agua potable y saneamiento. De acuerdo al informe del FOCARD (2013), citado en el estudio, la inversión conjunta para el año 2011, entre la ANDA y el FISDL, fue de US\$ 56.3 millones, considerándose 30% de dicho monto destinado al saneamiento. En esa misma dirección el informe del FOCARD afirma: "... esta situación es el resultado del abandono que el sector ha tenido, al menos en los últimos 25 años, en términos de planificación y desarrollo, retraso en atender una reforma normativa e institucional del sector y la ausencia de voluntad política para enfrentar los desafíos de ordenamiento del mismo. En este sentido, el país carece, a la fecha, de una institucionalidad adecuada para atender los retos que implica una gestión integral de los recursos hídricos."

De acuerdo al FOCARD (2013), actualmente se cuenta con 89 plantas de tratamiento en todo el país, de las cuales 20 son administradas por la ANDA y 69 son administradas por operadores municipales y privados. Según el estudio y de acuerdo a información brindada por la ANDA, el volumen de aguas residuales producido en los sistemas de alcantarillado es de 111.1 millones de m³ al año, equivalentes a un caudal de 3.52 m³/s de los cuales se da tratamiento a 9.46 millones de m³/año, equivalente a 0.30 m³/s. Esto implica que solamente 8.52% de las aguas residuales que se disponen al alcantarillado sanitario, recibe algún tipo de tratamiento antes de su descarga a cuerpos

Tabla 11. Cobertura de saneamiento a través de sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales con alcantarillado sanitario. Administración pública y privada-municipal

Descripción	Administración Pública (anda) (Con alcantarillado)	Administración Municipal - privada (con alcantarillado)	Cifras totales
Número de plantas de tratamiento	20	69	89
Población atendida con tratamiento de aguas residuales (habitantes)	124,481	349,551	474,032
Porcentajes de población atendida (%)	26%	74%	100%
Producción anual de aguas residuales de los sistemas de alcantarillado (millones de m ³ /año)	111.12	73.82	184.94
Caudal a.R tratados de los sistemas de alcantarillado (millones de m ³ /año)	9.46	16.40	25.86
Aguas residuales con tratamiento de los sistemas de alcantarillado (%)	8.52%	22.23%	13.98%

Fuente: FOCARD-APS, 2013.

hídricos receptores. Según cálculos efectuados por el FOCARD (2013), los sistemas administrados por las municipalidades y algunos residenciales producen un volumen estimado de 73.82 millones de m³ al año, de los cuales 16.40 millones de m³ al año cuentan con un tratamiento, lo que implica que 22.23% recibe un tratamiento antes de ser vertido a un cuerpo receptor. Sin embargo, no se cuenta con un seguimiento sistemático por parte de alguna entidad competente del funcionamiento y medición de las eficiencias de los sistemas, de tal forma que se desconoce si los vertidos tratados se encuentran dentro de los rangos y normativas establecidas. En la Tabla 11 se presentan los datos referentes a las condiciones de cobertura de saneamiento a nivel nacional con alcantarillado sanitario.

En la Tabla 12 se presenta la cobertura mediante fosas sépticas y letrina a nivel nacional.

4.2 Evaluación del abordaje institucional y marco normativo para el vertido de aguas residuales en el país

Actualmente se carece en el país de una Ley General de Aguas, a partir de la cual se establezca una autoridad rectora que regule y controle la situación de los vertidos y conciba una planificación general en cuanto a la descontaminación y fomento de un enfoque de desarrollo sustentable y coherente en el marco de una adecuada protección de los recursos y las cuencas hidrográficas. El anteproyecto de ley se encuentra actualmente en discusión en la Asamblea Legislativa.

En ese sentido, varias entidades del Estado históricamente han intervenido en la problemática, de acuerdo a competencias parciales y sectoriales, en diversos campos de acción sobre el control de vertidos, calidad de aguas y enfoque sanitario, agroproductivo y ambiental, en función de sus alcances y atribuciones. Para la ANDA su enfoque primordial es la protección y control de la calidad del agua proveniente de las fuentes superficiales y subterráneas, así como del agua presente en las líneas de conducción, distribución y consumo. Para el Ministerio de Salud, la importancia recae en el control y seguimiento desde una perspectiva sanitaria en la erradicación de vectores, enfermedades relacionadas al agua y el fomento de adecuadas prácticas de saneamiento, principalmente en lo rural a través de sistemas unifamiliares de disposición. Para el MARN, su énfasis se enfoca en la regulación y monitoreo de vertidos, control de la contaminación y protección ambiental de los cuerpos receptores. Finalmente, para el Ministerio de Agricultura (MAG), su énfasis de trabajo está puesto en verificar la calidad de agua para riego agrícola.

Desde esta perspectiva, en muchas ocasiones no se ha trabajado de forma interinstitucional, coordinada y conjunta, sino de forma dispersa y sin asumir desde un enfoque integral la problemática de la contaminación y calidad del agua.

Ha sido en los últimos años que se han hecho esfuerzos por desarrollar un abordaje coordinado y una acción interinstitucional más sistemática e integral, de tal forma que se han logrado acuerdos bajo los cuales se comparte información, se establecen mecanismos metodológicos conjuntos y se concibe

Tabla 12. Cobertura de saneamiento a través de sistemas de fosas sépticas y tanques sin alcantarillado sanitario. Administración Comunitaria-Municipal

Descripción	Administración comunitaria – municipal		Total
	Urbano	Rural	
Población (habitantes)	3,871,332	2,342,398	6,213,730
Disposición y algún nivel de tratamiento Mediante Fosa Séptica (habitantes)	124,481	349,551	474,032
Porcentaje (%)	13	13	
Disposición y algún nivel de tratamiento mediante letrinas (habitantes)	1,045,260	1,801,304	2,846,564
Porcentaje (%)	27	77	
Total	1,548,533	2,108,158	3,656,691
Porcentaje	40	90	59

Fuente: FOCARD-APS, 2013.

el problema del agua en toda su dimensión como algo que afecta diversos campos de la vida nacional.

Sin embargo, a pesar de todo este esfuerzo, el marco normativo vigente para el control y disposición de las aguas residuales presenta serias deficiencias en cuanto a posibilitar una real protección y gestión integral de los recursos hídricos desde una perspectiva sanitaria, ecosistémica y de desarrollo sustentable, pues en muchos casos los parámetros regulados presentan rangos permisibles, muy alejados de estándares y referencias internacionales.

Un primer aspecto que puede señalarse es la modificación significativa que se llevó a cabo en el establecimiento de la Norma Técnica de la ANDA-2005, sobre valores permisibles descargados al alcantarillado público, en relación con el Decreto No.50 de octubre de 1987, el cual establecía rangos permisibles mucho menores para ese mismo propósito, es decir, la norma técnica de ANDA-2005 amplió sustancialmente los límites permisibles de concentraciones de contaminantes que podían conducirse en el alcantarillado sanitario de las ciudades.

Esta situación tuvo que haber experimentado un impacto significativo en la capacidad de los sistemas de tratamiento, ya que los mismos fueron diseñados para ciertos caudales y determinadas concentraciones, y la nueva norma técnica de la ANDA-2005 permitía un sustancial incremento de las mismas sin que ordenara de igual modo, mediante alguno de sus artículos, la rehabilitación o transformación de los sistemas de tratamiento a las nuevas condiciones de efluentes no ordinarios.

En la Tabla 13 se presenta un cuadro comparativo entre los rangos modificados de la normativa de la ANDA-2005 y los rangos que se establecían en el Decreto No. 50, Art. 81,1987.

Por otro lado, similar situación se presenta entre los valores definidos en la normativa obligatoria salvadoreña NSO, la cual establece intervalos permisibles para vertidos en cuerpos receptores provenientes de diferentes sectores industriales y los valores guía establecidos por la EPA. En la Tabla 14 se presentan algunos parámetros comparativos.

La Norma Salvadoreña Obligatoria (NSO) de "Aguas Residuales descargadas a un cuerpo receptor" NSO 13.49.01.09 fue adoptada con base en acuerdo ejecutivo en marzo de 2009, entre el Ministerio de Economía, entidades empresariales y académicas. En la misma se establecieron valores límites de ver-

tidos de usos industriales a cuerpos receptores (quebradas y ríos), que sobrepasan considerablemente los valores permisibles para aguas negras domésticas (60 mg/l). Adicionalmente, los límites establecidos para un mismo parámetro diferían en función del sector industrial del cual proviniese. Así, por ejemplo, los límites para el DBO₅ varían entre 200 mg/l y 3,000 mg/l –si se trata de una fábrica de productos lácteos (600 mg/l), destilación de bebidas alcohólicas (3000 mg/l), fabricación de jabones (300 mg/l) o de la industria textil (200 mg/l).

Desde esta perspectiva, la norma salvadoreña, lejos de regular en función del control y disminución de las fuentes de contaminación y fomento de la preservación de los cuerpos receptores y ecosistemas, se vuelve un contrasentido que permite de forma oficial y legal verter altas concentraciones de contaminantes provenientes de uso industrial muy distantes de los objetivos de saneamiento y de las normativas, pautas y exigencias internacionales, pues dichas cargas y concentraciones de contaminantes no pueden ser autodepuradas por las corrientes naturales y cuerpos receptores.

En esa misma dirección es importante recordar que los lineamientos promovidos por el Banco Mundial para la disposición de vertidos en corrientes superficiales y drenajes naturales, provenientes de usos industriales, establecen como guía fundamental la preservación de la calidad ambiental del agua en el cuerpo receptor y establecen un marco normativo–guía con límites de parámetros basados en las directrices de la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

De acuerdo a lo expresado en el estudio del CDC, citado anteriormente, "Dichas criterios para preservar una buena calidad ambiental del agua, se encuentran claramente definidas en las recomendaciones de calidad del agua establecidas por la EPA, "US-EPA National Recommended Water Quality Criteria". Tomando en cuenta y basándose en dichas recomendaciones, la agencia multilateral (BM) creó un documento de lineamientos-guía dirigido a la industria, con el objetivo de hacer énfasis en la preservación de la salud, el medio ambiente y la seguridad, "Industry Sector Environmental Health and Safety Guidelines (EHS)", en el cual se establece que todo proceso productivo industrial debe priorizar la incorporación y la realización de los procesos

Tabla 13. Valores máximos permisibles para la disposición de aguas residuales en el alcantarillado público.

Parámetro	Unidades	Máximo valor permisible norma de la anda (2005)	Decreto no. 50 (1987)
Aceites y grasas	mg/l	150	20
Aluminio (Al)	mg/l	10	
Arsénico (As)	mg/l	1.0	0.05
Boro (B)	mg/l	3	
Cadmio (Cd)	mg/l	1	
Cianuro Total	mg/l	1	0.10
Cinc (Zn)	mg/l	5	5
Cobalto (Co)	mg/l	0.5	
Cobre (Cu)	mg/l	3	0.20
Color Real	mg/l	No diferente al de la descarga doméstica	
Compuestos fenólicos	mg/l	5	0.005
Cromo hexavalente (Cr+6)	mg/l	0.5	0.05
Cromo total (Cr)	mg/l	3	
DBO ₅	mg/l	400	
Detergentes (SAAM)	mg/l	35	
DQO	mg/l	1000	
Fluoruros (F)	mg/l	6	3
Fósforo Total (P)	mg/l	45	
Herbicidas totales	mg/l	0.1	
Hidrocarburos	mg/l	20	
Hierro total (Fe)	mg/l	20	
Manganeso total	mg/l	4	
Materiales Flotantes	mg/l	Ausentes	
Mercurio (Hg)	mg/l	0.02	
Molibdeno (Mo)	mg/l	4	
Níquel (Ni)	mg/l	4	0.80
Nitrógeno Total (N)	mg/l	100	
Organoclorados	mg/l	0.05	
Órgano fosforados y Carbonatos	mg/l	0.25	
PH	unid	5.5-9.0	5.5 - 9.0
Plata	mg/l	3	
Plomo (Pb)	mg/l	1.0	
Selenio (Se)	mg/l	0.15	
Sólidos Sedimentables	mg/l	20	
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	450	
Sulfatos (SO ₄) ₂	mg/l	2000	
Sustancia radioactivas	-	absent	
Temperatura (°C)	°C	20-35	T° < 35
Vanadio (V)	mg/l	5	

Fuente: Estudio CDC, Elaboración con base en normas técnicas.

Tabla 14. Comparativo de valores límites permisibles de constituyentes de aguas residuales dispuestas en cuerpo receptor, entre la norma salvadoreña NSO 13.49.01:09 y los valores guía indicados por la EPA

Contaminantes	Unidad	Concentración límite Norma Salvadoreña NSO.13.49.01:09	Concentración límite guía orientativo BM-EHS/EPA proveniente uso industrial
DBO ₅	mg/l	200 – 3000	30
DQO	mg/l	400 – 3500	125
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/l	150 – 1000	45
N Total	mg/l	50	10
P total	mg/l	15	2
Grasa	mg/l	30 - 200	10
pH	Uni.	5.5 – 9.0	6 – 9
Total de bacterias coliformes	NMP/100 ml	10,000	400
°T	°C		37
Color			No es aceptable un color ofensivo a la observación visual
Mercurio (Hg)	mg/l	0.01	0.01 – 0.015
Cadmio (Cd)	mg/l	0.1	0.01 – 0.015
Plomo (Pb)	mg/l	0.4	0.1 – 0.15
Arsénico (As)	mg/l	0.1	0.010 - 0.015
Cianuro (Cd)	mg/l	0.5	0.20 - 0.30
Cobre (Cu)	mg/l	1	0.25 - 0.375
Níquel (Ni)	mg/l	0.2	0.20 - 0.30
Cromo (Cr)	mg/l	1	0.10 - 0.15
Cinc (Zn)	mg/l	5	1.0 - 1.5
Antimonio (Sb)		---	No requerido para la mayoría de fuentes
Cobalto (Co)		0.05	0.03 (No requerido para la mayoría de fuentes)

Fuente: Estudio CDC. Elaboración con base en la Normativa Salvadoreña NSO 13490109 y Valores guía de “Industry Sector Environmental Health and Safety Guidelines (EHS)” promovido por el BM con base en “US-EPA National Recommended Water Quality Criteria”.

internos y previos necesarios para evitar, minimizar y controlar los impactos adversos en la salud de las personas, el medio ambiente y la seguridad integral de la población”.

Por otra parte, un aspecto fundamental que se destaca dentro de los lineamientos guía es la importancia de tener un conocimiento y caracterización del cuerpo receptor en su capacidad de asimilación y autodepuración, tomando en cuenta los tiempos estacionales del año, dado que la capacidad de dilución es mucho mayor en la época lluviosa que en la época seca, y por consiguiente es necesario establecer una “línea-base-estacional”. A partir de esta caracterización o línea base es posible determinar y construir una matriz de usuarios y la factibilidad de establecer concentraciones máximas, volúmenes a descargar, frecuencias, momentos y puntos o tramos para efectuar las descargas.

Tal como lo establece el documento del CDC, “Una de las debilidades de las normativas y lineamientos de regulación en El Salvador, es precisamente este punto. Es decir, en el país se establece un patrón de límites y rangos permisibles de descarga sin un conocimiento hídrico a fondo del cuerpo receptor, y de las características cuantitativas y cualitativas, en función de la época seca o lluviosa, y de sus capacidades reales de autodepuración. Con ello, se ejerce una práctica de descargas de “vertidos tratados” con autorización, pero sin que los mismos contribuyan realmente al objetivo de Saneamiento, preservación hídrica ambiental del cuerpo receptor y de su entorno natural”.

Queda pendiente desde esta perspectiva una iniciativa estratégica a nivel nacional que empiece a revertir al actual proceso de degradación, incorporando el saneamiento y la descontaminación de los

cuerpos de agua receptores, como una acción fundamental que debe ser asumida interinstitucionalmente y en diálogo franco con los actores sociales, económicos y políticos del país. Para ello debe haber un esfuerzo institucional, dirigido al desarrollo de las propias capacidades investigativas, tecnológicas y administrativas, así como de gestión del financiamiento, que posibilite no sólo la realización de importantes programas y acciones focalizadas, sino además el desarrollo e implementación por fases de un sistema nacional de saneamiento, enmarcado en un modelo de gestión apropiado y en una planificación y elaboración de políticas públicas.

4.3. Evaluación de las aguas de reúso

Recientemente se comienzan esfuerzos en la dirección de aguas de reúso, a través del Fondo de Inversión Social y Desarrollo Local (FISDL) en cooperación con la organización española Alianza por el Agua (AxA), la cual ha coadyuvado a fortalecer vínculos y relaciones de cooperación entre la institución y el CENTA de España. A partir de ello se han realizado cursos de capacitación a técnicos locales y enriquecimiento de manuales e instructivos para la promoción de una nueva agenda de saneamiento principalmente en zonas periurbanas y rurales. El enfoque va dirigido primordialmente a la puesta en marcha de sistemas de tratamiento extensivos, los cuales permiten la aplicación de tecnologías apropiadas y de bajo coste mediante sistemas combinados de tratamiento preliminar, separación de sólidos, filtración, biofiltros horizontal y vertical, y lagunajes, los cuales permiten la reutilización de los flujos tratados en huertos, extensiones forestales y frutales, así como para el mantenimiento de jardines y del entorno paisajístico. Entre los requerimientos para su aplicación está el disponer preferentemente de una fisiografía

conveniente que permita el emplazamiento del sistema en gravedad, con el fin de evitar costes por bombeo, la disposición de espacio y la zona de aprovechamiento donde se reutilizará el agua tratada.

4.4 Gasto per cápita en los sistemas de tratamiento dentro de una estrategia de saneamiento a nivel nacional

Las inversiones requeridas para la implementación de una estrategia de saneamiento a nivel nacional ya han sido estimadas en el marco del FOCARD-APS 2013, estableciendo los montos globales y costos per cápita en función del tipo de sistema de tratamiento a emplear, tal como se observa en la Tabla 15.

5. Agua y salud en las ciudades

El nivel de disponibilidad de agua en cantidad y en calidad es un aspecto directamente vinculado a la salud de la población tanto en las áreas rurales como urbanas. Generalmente en la época lluviosa, el país reporta un incremento de los cuadros epidemiológicos relacionados al dengue, dengue hemorrágico y otras enfermedades de tipo gastrointestinales, lo cual está asociado a retenciones de agua limpia en depósitos sin uso, encharcamientos que potencian el apareamiento de larvas de zancudo (*Aedes aegypti*) y contaminación de fuentes de abastecimiento, lo cual tiene una incidencia directa en la salubridad de los alimentos. Sin embargo, de acuerdo a cifras del Ministerio de Salud (MINSAL), aun en la época seca, esta problemática se mantiene. Se ha establecido que aun siendo alta la cobertura de agua potable mediante cañería domiciliar en áreas urbanas, sólo 66,5% de éstas cuenta con un servicio continuo de agua (esta condición se entiende como el servicio

Tabla 15. Inversión necesaria en saneamiento de acuerdo a la población objetivo y tipo de sistema a implementar

Descripción	Población (habitantes)	Monto Per Cápita (US\$/habitante)	Monto Total (Millones US\$)
Población Urbana sin alcantarillado	27,050	325.00	8.79
Población Rural sin saneamiento mejorado	243,295	150.00	36.49
Población Urbana sin tratamiento de aguas residuales	2,378,735	275.00	654.15
Mejoramiento de sistemas individuales	3,090,702	30.00	92.72
Monto total			792.16

Fuente: FOCARD-APS, 2013.

de agua suministrado durante 7 días a la semana durante al menos 4 horas diarias), mientras que en las viviendas en el área rural el servicio continuo cubre 34.6% de la población. Esta situación trae como consecuencia que los hogares se ven forzados a almacenar agua en recipientes y lavaderos, lo que trae consigo un riesgo a la salud en tanto que de acuerdo a los registros del MINSAL, el apareamiento del vector transmisor del dengue en la época seca alcanza 83% de positividad en los depósitos útiles al interior de las viviendas.

Por otra parte, la ausencia de una disposición mejorada de los servicios de aguas negras y la disposición de aguas servidas sin tratamiento previo y el bajo tratamiento de las aguas negras antes de la disposición final a los drenajes naturales o a través de mecanismos de infiltración, es otra variable que incide directamente en la salud de la población. Aunque la cobertura de servicios mejorados es alta en las áreas urbanas, las familias que carecen de ellos son las más afectadas y vulnerables, y las que recurrentemente presentan cuadros infecciosos asociados a la transmisión de enfermedades por mecanismo fecal-oral, como diarreas, entre las cuales se incluyen parasitismo intestinal, fiebre tifoidea, paratifoidea y salmonelosis, habiéndose reportado en el año 2012 una cantidad de 303 mil 393 casos atendidos por el sistema hospitalario. Al respecto puede evidenciarse mediante muestreo y análisis de laboratorio que este cuadro infeccioso se debe en gran parte a factores de riesgo relacionado a aguas contaminadas en

pozos artesanales y fuentes de aguas superficiales, las cuales reportan presencia de coliformes totales, coliformes fecales, parásitos, virus, *E. coli* y otros como el rotavirus, que ha afectado primordialmente a la población infantil menor de 4 años, habiéndose reportado para el mismo año 615 casos atendidos.

En la Tabla 16 se presenta el reporte de las primeras diez enfermedades que son causa de mayor frecuencia de consulta ambulatoria en la red de servicios de salud del MINSAL. Las “demás causas” se refieren a lesiones externas (accidentes, caídas, heridas), atenciones neonatales, infantiles, maternas y otras enfermedades y afectaciones. Las enfermedades diarreicas, aunque representan un bajo porcentaje en relación a las consultas ambulatorias totales, requieren de otras consultas relacionadas a servicios de laboratorio y exámenes, lo cual incrementa el servicio de asistencia para enfermedades de tipo infeccioso que están relacionadas con el agua y la salubridad. Adicionalmente, respecto de los servicios hospitalarios, el MINSAL establece que en relación a estas primeras diez causas, 44.37% de la atención y egresos de hospital es debido a enfermedades de tipo infeccioso-contagioso, entre las que se encuentran las enfermedades diarreicas y gastrointestinales, así como infecciones en vías urinarias y neumonía. Por otra parte, 13.8% lo representan las enfermedades crónico-degenerativas, principalmente la insuficiencia renal crónica.

Tabla 16. Causas más frecuentes de consultas ambulatorias en la red de servicios del MINSAL

Nr in order	Diagnóstico	Total
1	Otras infecciones agudas de las vías respiratorias	1,525,620
2	Hipertensión esencial (primaria)	710,779
3	Faringitis aguda y amigdalitis aguda	699,125
4	Otras enfermedades del sistema urinario	530,477
5	Personas en contacto con los servicios de salud para investigación y exámenes	481,498
6	Diabetes mellitus	360,785
7	Diarrea de presunto origen infeccioso	302,393
8	Otros síntomas, signos y hallazgos anormales clínicos y de laboratorio, no clasificados en otra parte	293,704
9	Otros traumatismos de regiones especificadas, de regiones no especificadas y de múltiples regiones del cuerpo	287,378
10	Otras enfermedades de la piel y del tejido suncutáneo	282,221
	Demás causas	5,288,705
	Totales	10,762,685

Fuente: Memoria de Labores MINSAL, 2013.

Al respecto es importante destacar que la contaminación de las aguas, tanto superficiales como subterráneas provenientes de los usos industriales y agropecuarios, ha adquirido en los últimos años gran relevancia y materia de discusión y atención por parte de las autoridades de Salud y Medio Ambiente, debido al incremento notorio en algunos puntos específicos del país, de enfermedades renales crónicas (ERC) asociadas al uso intensivo de plaguicidas y contaminación de aguas con trazas de elementos químicos y metales, que tienen entre sus causas principales las fumigaciones intensivas en las antiguas haciendas algodonerías y, en alguna medida, en las actuales plantaciones de caña de azúcar, pues los niveles freáticos de los acuíferos locales son de muy poca profundidad, oscilando entre los 4 y 12 m, lo cual los hace muy susceptibles a la contaminación.

Si para el año 2007 las consultas por ERC fueron de 16 mil 464, reportándose 505 fallecidos, las mismas han ido en un incremento paulatino en los últimos años, alcanzando 32 mil 366 en el 2012 y con una cifra de 809 personas fallecidas. Entre los departamentos más afectados del país, las tasas de muertes para esta enfermedad por cada 100 mil habitantes son de 28.8 y 25.6.

Por otra parte, aunque muchos de los brotes donde se han disparado las cifras, no pertenecen propiamente a áreas urbanas, la incidencia de éstas tiene

un factor preponderante, ya que la alta contaminación de las aguas superficiales que se producen en el AMSS genera impactos directos a través de todo su recorrido hasta su desembocadura al mar, pues a lo largo de dicho trayecto hay usos diversos relacionados a riego, pesca, usos recreativos y retención en embalses hidroeléctricos, entre otros, hasta finalmente alcanzar la zona deltaica del Bajo Lempa en la planicie costera, cuyas amplias extensiones son recurrentemente inundadas, afectando pozos artesanales, sembradíos comunitarios, animales domésticos de granjas familiares, acuíferos locales y otros usos agropecuarios.

Las defunciones por todas las causas registradas en el año 2012 en la red de hospitales del MINSAL fueron 10 mil 24, reportándose una disminución de 116 fallecidos en relación a 2011. Con ello, la tasa de mortalidad general para el año 2012 fue de 160.4 x 100,000 habitantes.

Aunque el MINSAL no establece explícitamente las inversiones o gastos de acuerdo a las principales causas de atención ambulatoria y hospitalaria, puede destacarse a partir de los datos presentados anteriormente que los costos que el país realiza destinados a la atención de padecimientos relacionadas a la problemática del agua y del saneamiento son muy significativos y podrían estimarse en el orden de 10-15% del presupuesto total anual de US\$625 millones, con-

Tabla 17. Variación del presupuesto anual en los últimos años y fuentes de financiamiento

Total del presupuesto por fuente de financiamiento	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013p
En millones US\$							
GOES	307.1	329.4	328.4	384.4	488.3	483.8	555.4
Préstamos Externos	41.4	40.2	105.1	76.2	38.5	45.3	42.3
Donaciones	6.7	13.2	8.2	12.8	13.3	15.1	12.6
Recursos propios	14.8	14.8	15.5	11.3	11.5	14.6	12.6
FAE	1.4	1.7	1.7	1.7	2.3	2.3	2.6
Total presupuesto	371.4	399.3	458.9	486.4	553.9	561.1	625.5
Tasa de crecimiento anual	0.8%	7.5%	14.9%	6.0%	13.9%	1.3%	11.5%
En porcentajes							
GOES	83%	82%	72%	79%	88%	86%	89%
Préstamos Externos	11%	10%	23%	16%	7%	8%	7%
Donaciones	2%	3%	2%	3%	2%	3%	2%
Recursos propios	4%	4%	3%	2%	2%	3%	2%
FAE	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Totales	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fuente: Memoria de labores MINSAL, 2013.

siderando el alto porcentaje que representan entre las primeras 10 causas de atención ambulatoria y hospitalaria las enfermedades infecto-contagiosas, infecciones urinarias, gastrointestinales, las enfermedades renales crónicas y los requerimientos de servicios de exámenes y análisis que ellas demandan.

El comportamiento del presupuesto anual proveniente del Gobierno central y financiamiento de diversas fuentes del MINSAL se presenta en la Tabla 17. En la misma puede observarse una tendencia creciente del presupuesto anual, pues el mismo representaba en 2008 el 1.9% del PIB, mientras que en 2012 representó 2.4%.

En relación con la mortalidad infantil en el país, puede destacarse que la tasa de mortalidad de infantes menores de 5 años y neonatales ha tenido una disminución apreciable en los últimos años. Para el año 2007, en relación a niños menores de 5 años, la tasa fue de 15.80 por cada mil nacidos vivos. Para el año 2012 la tasa fue de 12.5, tal como se presenta en la Figura 19.

Esta importante disminución en la tasa de mortalidad de infantes menores de cinco años, perinatales y neonatales, registrada en los últimos años, se debe en gran medida a la implementación de un modelo de salud que privilegia la Atención Primaria de Salud Integral (APSI), el cual conlleva la extensión de programas de inscripciones prenatales para el mejoramiento de la atención, controles y educación materno-infantiles, los cuales han sido de gran beneficio y contribuido a una reducción de las principales causas de muerte infantil, entre las cuales se encuentran asfixia perinatal, sepsis neonatal y prematuridad.

Estos mismos programas han contribuido significativamente a reducir la muerte materna, registrándose 64 casos de defunciones para 2011, y 53 para

2012. El MINSAL reporta que con ello se ha alcanzado de los Objetivos del Milenio el 5 para el año 2015, que consiste en reducir hasta dos terceras partes la mortalidad materna equivalente a una tasa de 52.8 x 100 mil nacidos vivos (nv), en relación con la tasa de 1990 que fue de 211 x 100,000 nv. La tasa para el año 2012 se reporta en 42 x 100,000 nv.

Desde esta perspectiva es importante observar que entre los principales desafíos para el país, no solamente se presentan como tales los esfuerzos por incrementar los servicios de salud en cuanto a atención ambulatoria y hospitalaria, así como los recursos en personal profesional e infraestructura, tratamientos y medicamentos respectivos desde de las asignaciones presupuestarias del Estado, sino además el generar las condiciones desde la óptica de impulsar un modelo de desarrollo social y económico, con equidad y sustentabilidad hídrica-ambiental, que propicie las condiciones para elevar y mejorar las condiciones de vida de la población, en relación a una vivienda digna con servicios básicos, protección de los ecosistemas y medios de vida de la población, descontaminación ambiental, gestión integral de las cuencas hidrográficas para el mantenimiento de la cantidad y calidad del agua, promoción de hábitos saludables de vida y pautas culturales que fomenten una práctica social menos consumista, entre otros, pues todo ello se encuentra íntimamente vinculado al cuadro de las principales 10 causas de servicios de salud, de tal forma que un giro económico-social en esta dirección puede coadyuvar a regular y disminuir grandemente la carga social que se va generando año con año sobre el sistema de salud, propiciando con ello un servicio más eficiente, con posibilidad de potenciar otras áreas estratégicas en el desarrollo de los servicios de salud preventivos, de diagnóstico, tratamiento y curativos.

Figura 19. Comportamiento de la tasa de mortalidad infantil



Fuente: Memoria de labores MINSAL, 2013.

6. Variabilidad y cambio climático, su impacto en el recurso agua en las ciudades

La variabilidad climática y los impactos asociados de la misma y del cambio climático sobre la dinámica de las aguas urbanas, se han sentido con mayor intensidad en las últimas décadas, reflejándose en el incremento de la frecuencia de eventos hidrome-

teorológicos extremos, aumento de las intensidades de lluvia (mm/min) y sus periodos de retorno, disminución de la precipitación media e incremento de la temperatura en algunos puntos del país, incremento de días consecutivos secos en la época invernal y disminución de días consecutivos lluviosos, principalmente. Todos estos aspectos han sido estudiados, en años pasados, desde la perspectiva de la variabilidad climática, por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), hoy Observatorio Ambiental del MARN, y desde la perspectiva del cambio climático por diversos estudios realizados en interacción entre entidades nacionales e internacionales, a partir de proyecciones climáticas en cuanto a variación de temperatura y lluvias para diferentes escenarios de emisiones y mediante la modelación de reducción de escala a partir de los resultados obtenidos de los modelos de circulación global.

Con base en el análisis interdecadal, el Servicio Hidrológico Nacional del SNET analizó en el año 2005 el comportamiento de la lluvia y temperatura en una serie de estaciones meteorológicas a nivel nacional. Con respecto a la temperatura, los resultados de diez estaciones con datos de más de 40 años indicaron una tendencia generalizada al incremento de la temperatura a partir de mediados de los años 70 con intervalos que varían entre 0.4°C a 2.2 °C. En las figura 20 y 21 puede observarse la tendencia al incremento de la temperatura en dos estaciones meteorológicas ubicadas en altitudes diferentes al occidente del país, en el departamento de Santa Ana, y para un registro mayor a los 40 años.

Con respecto a la lluvia se llevó a cabo el análisis de 17 estaciones a nivel nacional para el periodo comprendido entre la década de los 50 y el año 2005, estableciéndose considerables reducciones de lluvia, principalmente en algunas estaciones del oriente del país, cuya zona está siendo afectada interanualmente por sequías e incremento de días consecutivos secos en la época invernal. El análisis determinó que aproximadamente 70% de las estaciones analizadas experimentó un decrecimiento de la lluvia y 30% experimentó un incremento de lluvia. La estación con una reducción más severa fue la del departamento de La Unión con una reducción de 800 mm en 78 años de registros, pasando de 2 mil 100 mm a 1 mil 300 mm en promedio. Esta fuerte reducción de lluvia ha causado gran preocupación y escenario de mayor atención, de tal forma que se siguen analizando los

Figura 20. Santana El Palma A-2, 725 msnm

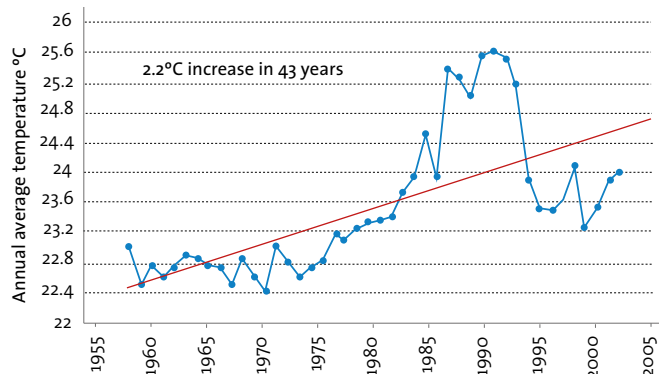
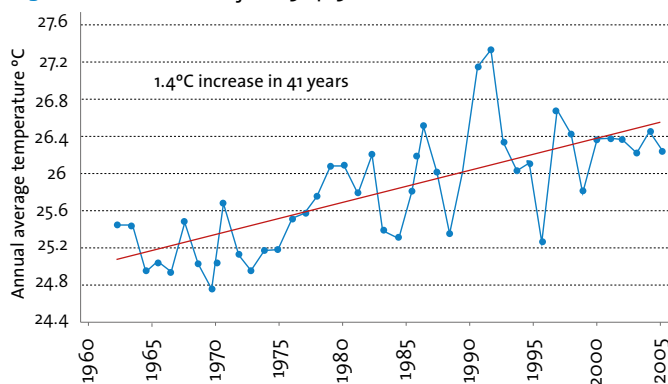


Figura 21. Estación Guija A-15, 485 msnm



datos y validez de los mismos, principalmente los registrados en la primera mitad del siglo XX. En las gráficas 22 y 23 se presentan las tendencias de los registros de dos de las estaciones que reflejan el comportamiento antes señalado.

Desde la perspectiva del cambio climático, en 1998 se llevó a cabo uno de los primeros estudios de gran importancia para el país, realizado por Abel Centella, investigador del Centro Nacional del Clima de Cuba y con el apoyo de la Universidad de El Salvador y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). El mismo consistió en la elaboración de los escenarios climáticos (Centella,1998) construidos a partir de las salidas de modelos de circulación global (MCG) y mediante la aplicación del modelo MAGICC, el cual es un modelo climático que reproduce concentraciones de gases efecto invernadero, temperatura y nivel del mar entre los años 1990 y 2100, y del modelo SCENGEN, el cual contiene la base de datos y resultados de 14 modelos de circulación global para temperatura y elevación del nivel del mar, y produ-

Figura 22. Estacion L-1

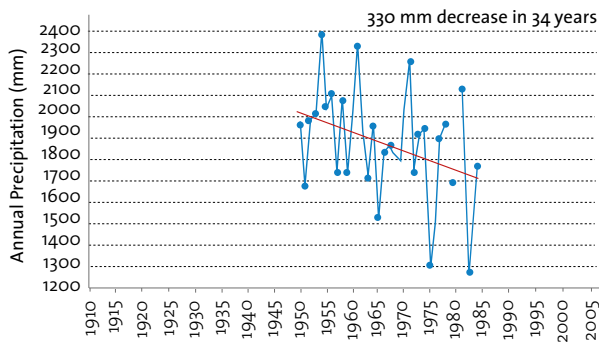
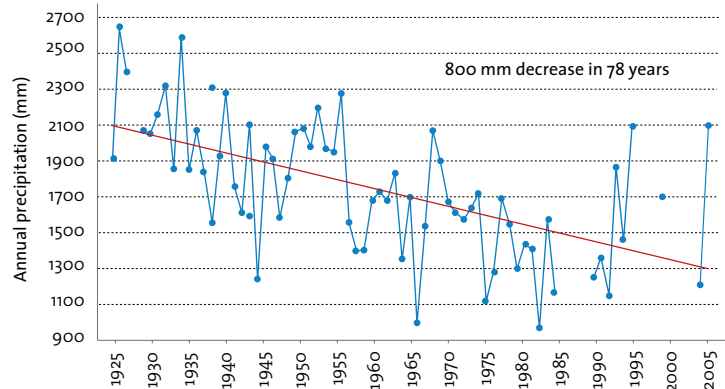


Figura 23. Cutucu station N-2, 5 msnm



ce escenarios de cambio climático a nivel regional, para diferentes supuestos o escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero y sus proyecciones futuras (2020, 2050 y 2100) de calentamiento, combinando y reproduciendo los resultados de los modelos de circulación global y del MAGICC.

Los resultados del estudio, tomando en cuenta una línea base climática de referencia de 30 años (entre 1961-1990), indican un incremento de la temperatura entre 0.8 y 1.1 °C para el año 2020, hasta 2.5 a 3.7 °C para 2100. Con respecto a la precipitación, los resultados presentan intervalos de reducción desde -11.3% a incrementos de 3.5% en 2020 y de -36.6 a 11.1% en 2100.

Posteriormente, en el año 2006 se llevó a cabo un nuevo estudio a nivel centroamericano coordinado por la Universidad de Costa Rica, en el cual se aplicaron las mismas técnicas y modelos de análisis utilizados en el estudio de 1998 para El Salvador, con la diferencia de una aplicación actualizada de parámetros y algoritmos. De acuerdo al análisis de la climatología regional, el istmo centroamericano se dividió en zona norte y zona sur, divididas ambas por el paralelo 10N. Para el caso de la zona norte, donde se ubica El Salvador, en la vertiente del Pacífico centroamericano, el estudio determinó nuevamente un incremento de la temperatura y un decrecimiento de la lluvia, lo cual se vería intensificado para algunos meses del año debido al fenómeno de El Niño y a una mayor intensidad de los usos del agua. Los resultados obtenidos, para dos escenarios de emisión, uno bajo B1 y otro medio-alto A2, indican con respecto a la temperatura un incremento de 0.8-0.9 °C para 2030 y entre 2.7-3.3 °C para 2100. Para lluvia, los re-

sultados establecieron un decrecimiento entre -2.8 y -4.9% para 2030 y entre -11.5 y -20.1% para 2100, principalmente en los meses de mayo y septiembre, este último caracterizado por ser el mes más lluvioso del año, sin que el estudio reportase posibles proyecciones de incrementos de lluvia, tal como indican los resultados del estudio de 1998.

En el año 2008 se llevó a cabo un nuevo estudio a través de la Universidad de Santa Clara, California (Maurer, 2008), el cual tuvo como propósito el análisis de los impactos del cambio climático en la capacidad de generación hidroeléctrica del principal embalse del país, determinando resultados en la misma dirección de los estudios anteriores. Estableciendo la misma línea base como referencia climática (1961-1990) para la cuenca hidrográfica del Río Lempa y para los dos escenarios de emisiones (B1 y A2), los resultados reportaron incrementos en la temperatura entre 1.9 y 3.4 °C para la segunda mitad del siglo XXI, así como el decrecimiento de precipitaciones medias en el orden de 5 y 10.4% para los dos escenarios de emisiones y para ese mismo periodo proyectado. Por otra parte se determinó una reducción de la entrada de los caudales a los embalses principalmente durante los meses lluviosos de junio a septiembre en el orden de 13 y 24% y un decrecimiento en la capacidad de acumulación de agua en los embalses para la generación hidroeléctrica en el orden de 33 a 53%, como resultado de un incremento en la frecuencia de años con flujos reducidos e incremento de la evapotranspiración.

En el año 2010, la CEPAL publicó el estudio denominado La Economía del Cambio Climático en Centroamérica que ratifica la misma tendencia de los

estudios anteriores en cuanto a disminución de lluvia e incremento de la temperatura para El Salvador, expresando por otra parte una mayor tendencia en cuanto a intensidad del uso del agua de 12.01% en relación a los demás países del istmo centroamericano. De acuerdo al escenario de mayores emisiones A2, se esperaría un incremento entre 0.77 y 2.03°C para la primera mitad del siglo y entre 2.9° y 4.73°C para la segunda mitad del siglo. En cuanto a lluvia se esperaría una reducción entre -2.67 a -15.23% para la primera mitad del siglo y una reducción entre -15.73 y -31.67% para la segunda mitad del siglo. El mismo estudio señala para el escenario A2 una reducción en la disponibilidad hídrica neta a nivel nacional (precipitación menos pérdidas por evapotranspiración) de -44% para el año 2050 y de -82% para el año 2100, así como una reducción para ese mismo año de 93% de la disponibilidad per cápita (estimada en el orden de 3,200 m³/habitante/año de acuerdo a cálculos del MARN), la cual se constituye actualmente en la más baja de Centroamérica.

Adicionalmente al análisis de los impactos generados por el incremento de temperatura y decrecimiento de la lluvia media, las proyecciones de los impactos del cambio climático reflejan en los diferentes estudios un notorio incremento en las intensidades de lluvia (mm/min) y recurrencia de las mismas, así como la presencia de tormentas tropicales o eventos meteorológicos que reflejan grandes cantidades de lluvia en corto tiempo, tal como lo manifiestan los eventos de los últimos años indicados en la introducción. Por otra parte, los modelos y análisis proyectan la mayor probabilidad de eventos de varios días secos consecutivos y una menor duración de los periodos con varios días consecutivos con lluvias mayores de 10 mm.

Tomando en cuenta esta situación de alta susceptibilidad a los impactos del cambio climático, en abril de 2013 se lanzó la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) por parte del MARN, la cual se orienta hacia la implementación de líneas prioritarias de adaptación que confluyen con iniciativas y planes sectoriales claves de otras carteras de Estado en el área económica y social, tales como agricultura y gestión de cuencas, infraestructura vial, generación hidroeléctrica y eficiencia energética, ordenamiento territorial, saneamiento enfocado al control y manejo de vertidos domésticos e industriales, así como a la promoción de la salud de la población, inversiones

en la franja costera y restauración de ecosistemas y paisajes rurales, la cual se interrelaciona directamente con los programas de agroforestería y gestión de cuencas hidrográficas, con la implementación de mecanismos REDD+ para la ampliación y manejo forestal, como parte de las acciones de mitigación.

Desde esta perspectiva, algunas de las acciones priorizadas como medidas de adaptación a nivel nacional se orientan, en el sector agrícola, al desarrollo de programas de agricultura familiar diversificada mediante la implementación de huertos caseros, reservorios de agua para riego local, sistemas de riego eficiente y obras de conservación de suelos, entre otros. Este programa ha sido impulsado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), desde hace algunos años, con énfasis en la promoción de la seguridad alimentaria y habiendo beneficiado a amplios sectores de escasos recursos en las zonas rurales, esperándose a un corto y mediano plazos su evaluación y monitoreo de resultados en relación con una línea de referencia base para su análisis dentro del enfoque de adaptación al cambio climático.

En el área de infraestructura vial, a través del Ministerio de Obras Públicas (MOP), los planes del sector se destinan a la intensificación de obras de protección en zonas de riesgo a desbordamientos, erosión y formación de cárcavas, principalmente en las zonas urbanas, así como a acciones de gran envergadura destinadas a mejorar la interconectividad vial, principalmente en la capital (desarrollo del Sistema Integrado de Transporte del AMSS -SITRAMSS-), como una medida que puede propiciar una mayor eficiencia en el transporte masivo y, por consiguiente, contribuir a la disminución de las emisiones de GEI en el país, concebida en ese sentido como una medida que puede contribuir más a la mitigación que a la adaptación. Se estima que El Salvador produce 0.04% de las emisiones globales.

Desde el enfoque del ordenamiento urbano y desarrollo bajo en carbono, los lineamientos de adaptación y mitigación se dirigen a la promoción del ordenamiento territorial basado en una arquitectura que integre medidas de valor ecológico, promoción de la construcción en altura y el fomento hacia la actualización de los códigos de diseño y construcción desde esta nueva perspectiva de adaptación al cambio climático, así como mayor énfasis en la investigación y aplicación de tecnologías compatibles y apropiadas, introducción de pautas eco-

lógicas y de adaptación al cambio climático en los programas educativos de las distintas profesiones, sensibilización para la protección de ecosistemas y áreas boscosas de las zonas medias-altas de recarga acuífera en las cuencas hidrográficas, control de los niveles de impermeabilización, etcétera.

Otras de las iniciativas incorporadas a la ENCC es la promoción de la diversificación y eficiencia energética, cuyas líneas prioritarias ya se encuentran en los planes de trabajo de la Comisión Nacional de Energía, entidad adscrita al Ministerio de Economía. Uno de los aspectos que se destacan es la introducción de luminarias ahorradoras, turbo cocinas de bajo consumo en leña y el rediseño de grandes Presas Hidroeléctricas como “El Cimarrón” y “el Chaparral”, las cuales han sido seriamente observadas en el pasado, precisamente por su alta intervención en zonas de gran importancia para la conservación del recurso hídrico y los ecosistemas. En el caso de El Cimarrón, fundamentalmente, por su ubicación en el principal tramo del Río Lempa que posee el agua de mejor calidad en cuanto a aguas superficiales del país, siendo dicho tramo esencial para la dilución, para el mantenimiento de la hidrodinámica y geomorfología fluvial, y principalmente, para el abastecimiento de agua potable al AMSS, pues aguas abajo se ubica la principal toma de agua de la ANDA, indicada en apartados anteriores y conocida como “Las Pavas”. Por otra parte, una de las variables técnicas y administrativas más importantes es que la cuenca hidrográfica al punto de presa es una cuenca transfronteriza, cuya extensión en 80% aproximadamente pertenece a territorios de países vecinos, con los cuales no hay acuerdos internacionales respecto a garantizar la cantidad y calidad de los flujos de diseño requeridos para la generación hidroeléctrica, más aún, cuando se prevé importantes disminuciones de caudales y

disponibilidad hídrica para las próximas décadas, de acuerdo a los impactos por el cambio climático establecidos en los diferentes estudios.

Actualmente, a partir del lanzamiento de la ENCC, se está trabajando en el Plan Nacional de Cambio Climático (PNCC) y en el Plan de Adaptación Nacional (PAN), los cuales integrarán los ejes y lineamientos prioritarios, marco jurídico, institucionalidad, agenda de trabajo y gestión para el financiamiento, concibiéndose como instrumentos esenciales en el marco de la tercera comunicación nacional sobre cambio climático a celebrarse en el presente año.

En ese sentido es importante señalar que un esfuerzo y desafío como país se plantea en torno a que los planes deben basarse y corresponder a la información, análisis y resultados de los estudios del cambio climático, de tal forma que la situación crítica proyectada sobre la disponibilidad del recurso hídrico, el incremento de los eventos extremos (los cuales pueden propiciar pérdidas por inundaciones y sequías), la afectación a los ciclos agrícolas por pérdida de mayor evapotranspiración y disminución de los periodos de humedad del suelo y pérdida de los ecosistemas, son aspectos que deben estar estrechamente vinculados a las medidas estratégicas de adaptación, de tal forma de no incorporar mecanismos de aplicación, acciones y medidas que contribuyen colateralmente o marginalmente a la adaptación y que responden más bien a intereses económicos y sectoriales, considerando además que su implementación puede ser cuestionable desde los impactos adversos y contradictorios que pueden derivarse en detrimento de los objetivos mismos de adaptación que se persiguen.

Tal es el caso de la construcción de las grandes represas hidroeléctricas concebidas en un entorno

de crisis hidrológica y empréstitos de infraestructura vial que van abriendo ejes preferenciales, favoreciendo el avance urbanístico precisamente en zonas que deberían conservarse, como es el caso de la zona boscosa y de retención hídrica, ubicada en las estribaciones de la cordillera del Bálsamo, Santa Tecla y la zona sur poniente de la capital, tal como se ha indicado en el apartado 2 de “fuentes de agua en zonas urbanas y los impactos causados por la urbanización”, y que son esenciales para la recarga del acuífero de San Salvador y para la atenuación natural de los altos escurrimientos en momentos de crecidas.

Al respecto es importante destacar, desde la perspectiva de la gestión de Aguas Urbanas, el desarrollo actual por parte del Ministerio de Obras Públicas de los diseños de un sistema de lagunas de laminación, muchas de ellas aprovechando la topografía de los cauces naturales u obras de regulación hidráulica a implementar en diferentes puntos del AMSS, como parte de las soluciones estructurales para la reducción de riesgo y vulnerabilidad urbana ante los impactos por cambio climático, referentes a la ocurrencia de eventos extremos de lluvias intensas y de alta duración. Las mismas están destinadas a atenuar y regular los flujos, y evitar posibles desbordamientos aguas abajo, de tal forma que se prevé su ubicación en las zonas medias de la capital. Uno de los aspectos que se han señalado en cuanto a su formulación y ubicación es que las mismas deben implementarse dentro de un enfoque de compatibilidad e integración ambiental en el interior de la ciudad, de tal forma de no generar efectos colaterales contraproducentes a los servicios ecológicos que brindan las principales vertientes y quebradas naturales situadas en las zonas medias y altas. Dichos cauces naturales, mantenidos históricamente en sus condiciones originales, se caracterizan por su nutri-

da cobertura arbórea que debe ser preservada, pues constituyen los únicos corredores biológicos para la oxigenación de amplias áreas urbanas, hábitats de diferentes especies de aves, regulación térmica por efecto de la sombra, atenuación de la radiación solar y captura de CO₂. En general, tal como se ha señalado anteriormente, la mejor obra de mitigación es la protección misma de la cobertura arbórea existente en las amplias extensiones de las zonas medias y altas de la capital, y el énfasis en medidas no estructurales bajo la óptica de un desarrollo sustentable.

Con respecto a las aguas de reúso, actualmente se tiene concebido dentro de los lineamientos prioritarios por parte de la ANDA, el intensificar las medidas referentes al saneamiento y, entre ellas, el fomento de la reutilización de aguas tratadas especialmente dirigido a empresas e industrias. Las aguas de reúso están regidas por el marco regulatorio del reglamento especial de aguas residuales, Decreto 39 del año 2000, y definido para diferentes usos (reúso urbano, para riego agrícola, recreativo, paisajístico y para el sector construcción), antes o en sustitución de su vertido final. Los parámetros de las calidades de las aguas a reutilizar se encuentran establecidos en parte en el Decreto No. 50 del año 1987, referente a calidad del agua y control de vertidos.

Por otra parte se han iniciado esfuerzos entre el FISDL, el MINSAL y Alianza por el Agua (AXA) con el fin de promover de manera más intensa las aguas de reúso en zonas periurbanas, comunitarias y rurales, tal como se indicó en el apartado 4 referente al tratamiento de aguas en las ciudades.

7. Conclusiones

La gestión integral de aguas urbanas es una temática que debe ir adquiriendo cada vez mayor importancia y centralidad en la agenda del país y de las políticas públicas, pues a partir de dicha priorización se encuentran y focalizan aspectos claves para el desempeño coordinado e interinstitucional, en interacción con otros sectores sociales y económicos, para el abordaje de los problemas fundamentales relacionados a la disponibilidad y abastecimiento del agua, al saneamiento, al ordenamiento y preservación hídrico-ambiental de los territorios, a la promoción de la salud de la población y a una estrategia de auténtica adaptación al cambio climático.

A partir de su análisis y perspectiva participativa e interdisciplinaria, pueden concebirse y definirse lineamientos estratégicos para la planificación de las ciudades y la promoción de un nuevo modelo de desarrollo hídricamente sustentable, que regule, controle y articule la lógica del progreso desarraigada de la preservación de los bienes naturales, así como las inversiones y los proyectos urbanísticos y económicos, al conocimiento y comprensión de las actuales condiciones de grave crisis hídrico-ambiental en que se encuentra el país, con el propósito de coadyuvar a propiciar un proceso que permita revertirlas o equilibrarlas a corto y mediano plazos.

Para ello, un aspecto fundamental en la agenda legislativa es la aprobación de la Ley General de

Aguas, cuyo anteproyecto se encuentra en discusión y análisis en la Asamblea Legislativa desde marzo del año 2012. La Ley General de Aguas posibilitaría brindar al país el marco jurídico para enrumbar una estrategia de ordenamiento hídrico-ambiental llevando a cabo las acciones requeridas dentro del esquema de una política nacional y bajo la autoridad pública-estatal de una entidad rectora.

Paralelo a ese esfuerzo es importante impulsar el Plan Nacional Hídrico (PNH) y el Plan de Adaptación Nacional al Cambio Climático (PAN), los cuales deben fundamentarse en los estudios, análisis y resultados de los diagnósticos e investigaciones de la crítica situación hídrica-ambiental actual, su comportamiento histórico en las últimas décadas y sus proyecciones futuras, y en correspondencia a dichos aspectos base dar paso a la priorización de áreas hidrográficas y de acciones y medidas, en el ámbito jurídico, político, económico, social, comunicacional y financiero, de tal forma de enfocar este esfuerzo a los temas claves que implica la gestión del agua de cara al futuro con equidad, solidaridad y participación, entre ellos, abordando decididamente la dinámica de aguas urbanas, en todas sus variables, desafíos y dimensiones, tal como se ha destacado en el presente capítulo El Salvador.

8. Referencias

- ANDA, Boletín Estadístico 2009, parte B. Cobertura de Servicios por ANDA y Operadores Descentralizados a nivel nacional.
- ANDA, Boletín Estadístico 2010
- ANDA, Boletín Estadístico 2011
- ANDA, Informe de Gestión, Unidad de Laboratorio de Calidad del Agua, 2014.
- ANDA, Memoria de Labores 2013
- ANDA, Informe de Rendición de Cuentas 2009-2014
- Arévalo y Vásquez, "Actualización del comportamiento del flujo subterráneo del acuífero de San Salvador", trabajo de graduación", UCA 2005.
- Barrera, M., "Caracterización Hidrogeoquímica e Isotópica de Areas de Recarga en el Acuífero de San Salvador" trabajo de investigación para optar al grado de Maestra en Gestión de Recursos Hidrogeológicos, Universidad de El Salvador, Septiembre 2010.
- Centella A., Escenarios Climáticos de Referencia para la República de El Salvador, PNUD/GEF/ELS/97/32, San Salvador, 1998.
- CEPAL, "La economía del cambio climático en Centroamérica", síntesis 2010.
- Coto, "Evaluación de la explotación y disponibilidad de agua subterránea y análisis de pruebas de bombeo en el acuífero del AMSS", trabajo de graduación, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, UCA, 1994.

- Dada Arquitectos, "Propuesta para la conservación y uso sostenible de El Espino", mayo 2010.
- DIGESTYC, "Dirección General de Estadísticas y Censos" 1992-2007
- E.P. Maurer, "Hydrologic Impacts of Climate Change to the río Lempa basin of Central América", Santa Clara University, CA, USA. 2008.
- Erazo, A., "Análisis de los Impactos de los Cambios de Usos de Suelo en la Escorrentía Superficial del Arenal Seco, San Salvador", SNET-MARN 2009.
- FOCARD-APS "Gestión de las Excretas y Aguas Residuales, Situación actual y perspectivas, El Salvador -2013"
- Junker, M., "Método RAS para determinar la recarga de agua subterránea" Forgaes-El Salvador, UN, 2005.
- Lungo, M., "La Gestión de la Tierra Urbana en El Salvador", PRISMA, dic. 1996.
- MARN-Observatorio Ambiental, "Informe de la calidad de las aguas en los ríos de El Salvador 2011".
- MINSAL, Informe de Labores 2012-2013.
- Ministerio de Economía. Encuesta de Hogares de Propósitos Múltiples (EHPM-2011).
- Moncada G, Luis., "Evaluación y Sistematización de las experiencia y lecciones aprendidas de las 12 empresas descentralizadas asesoradas por RTI", El Salvador, mayo 2005.
- PLAMDARH, "Plan Maestro de Desarrollo y Aprovechamiento de los Recursos Hídricos", El Salvador, PNUD-ELS, mayo 1982.
- Quiñónez, J. "Propuesta de un Modelo de Gestión de Saneamiento Técnica y Económicamente Viable", Centro para la Defensa del Consumidor CDC, Mayo 2014.
- SACDEL (Sistema de Asesoría y Capacitación para el Desarrollo Local), Análisis del Proceso de Descentralización del Estado Cap. VI, abordaje ANDA, p.117, 2005.
- SNET-MARN, Balance Hídrico Dinámico de El Salvador, 2005.
- Universidad de Costa Rica, "Impacts and Adaptation to Climate Change and Extreme Events in Central America" (AIACC-LA06), 2006.

9. Acrónimos

AMSS	Área Metropolitana de San Salvador
ANDA	Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados
CDC	Centro para la Defensa del Consumidor
DIGESTYC	Dirección General de Estadísticas y Censos
EHPM	Encuesta de Hogares y Propósitos Múltiples
ENCC	Estrategia Nacional de Cambio Climático
FISDL	Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local
FOCARD-APS	Foro Centroamericano y República Dominicana de Agua Potable y Saneamiento
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MARN	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
METROPLAN	Planificación Metropolitana 1980
MINSAL	Ministerio de Salud
NSO	Normativa Salvadoreña Obligatoria
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPAMSS	Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador
PAN	Plan de Adaptación Nacional
PLANDARH	Plan Maestro de Desarrollo y Aprovechamiento de los Recursos Hídricos-1982
PLAMADUR	Plan Maestro de Desarrollo Urbano 1996
PNCC	Plan Nacional de Cambio Climático
PRISMA	Programa de Investigación Salvadoreño sobre Medio Ambiente
SACDEL	Sistema de Asesoría y Capacitación para el Desarrollo Local
SNET	Servicio Nacional de Estudios Territoriales
UCA	Universidad Centroamericana José Simeón Cañas

Estados Unidos de América

A nighttime panoramic view of the Chicago skyline. The Chicago River flows through the foreground, reflecting the city lights. The skyline is dominated by several prominent skyscrapers, including the Willis Tower (now known as 111 Wacker Drive) on the right, which is illuminated with blue lights. Other buildings are lit up with warm yellow and white lights, creating a vibrant urban scene. The sky is a deep blue, suggesting dusk or early evening. The overall atmosphere is one of a bustling, modern city.

Panorámica de Chicago, Río Chicago rodeado de edificios y oficinas. Foto: ©iStock.com/Arpad Benedek.



“La calidad de las reservas de agua urbana de los Estados Unidos de América es la adecuada y las enfermedades transmitidas por agua son escasas. Sin embargo, los problemas ocasionados debido a la poca regularidad en las labores de mantenimiento, la necesidad de trabajos de mantenimiento a futuro, el deterioro de la calidad del agua y la cada vez mayor escasez de ésta, son factores que, de no controlarse, harán más difícil obtener suministros de agua adicionales y contribuirán al deterioro de la calidad de los suministros existentes. Estos problemas pueden solucionarse de forma eficaz mediante una combinación de políticas de administración de la demanda y el uso de tecnologías nuevas e innovadoras. De esta manera, el reciclaje de aguas residuales y la desalinización se convertiría en algo común. No obstante, estas acciones serían costosas y tendría que desarrollarse la voluntad política para su realización a través de un liderazgo informado”

Un panorama de la gestión y de los problemas del agua para uso urbano en los Estados Unidos de América

Henry Vaux, Jr.

Resumen

Los problemas que los Estados Unidos de América (EUA) enfrentan en relación con el agua en las urbes son de mantenimiento y renovación de los sistemas de agua, el continuo deterioro de la calidad de las fuentes de agua y la escasez de la misma que impide el desarrollo de nuevos suministros para soportar el crecimiento urbano. Estos problemas son tecnológicos, institucionales y políticos. Hay una necesidad clara de invertir en el mantenimiento y mejora de las instalaciones para el agua urbana, pero la voluntad política para pagar los costos necesarios simplemente no existe. Aunque los suministros de agua actuales son muy adecuados y las enfermedades causadas por el agua son realmente raras, los EUA son un buen ejemplo de la “paradoja del agua de las naciones desarrolladas” debido a que si no se llevan a cabo nuevos, sustanciales y costosos esfuerzos, los sistemas de suministro de agua estarán en peligro. Existen varias formas de hacer frente a los problemas. Las estrategias de gestión de la demanda incluyen acciones para manejar el consumo de agua con más cuidado, reducir el desperdicio y conservar los niveles de confiabilidad. Algunos de los elementos de las estrategias de gestión de la demanda son: racionalización del agua, educación, precio y el desarrollo de acuerdos para la comercialización del agua a través de los cuales se adquieran suministros adicionales. La reforma en los precios será particularmente importante debido a que las prácticas actuales para ponerlos cubren únicamente una fracción del costo real del agua, que incluye el valor de la escasez de ésta, los costos de tratamiento, transporte y disposición. La cada vez más intensa competencia por los fondos públicos hace que no sea posible disponer de ellos como se hacía en el pasado para apoyar estas actividades.

Otra categoría general de acciones que se pueden tomar para solucionar los problemas de escasez involucra el uso de tecnología y otras estrategias para aumentar el suministro. Reciclar las aguas residuales es atractivo es ciertas situa-

ciones en las cuales las regulaciones sobre la calidad del agua requieren que cualquier agua residual que se descargue sea tratada al más alto nivel de calidad; sin embargo, la tecnología que se requiere para mejorar cualitativamente el agua degradada es costosa y reciclar las aguas residuales es atractivo solo en algunos casos en los cuales los costos de las fuentes alternativas de suministro son muy elevados. La desalinización es otra tecnología potencialmente atractiva, pero su costo es muy alto, consume mucha energía y puede provocar problemas ambientales cuya solución representaría un elevado costo. Las reformas políticas para promover estrategias de gestión de la demanda parecen ser la forma menos costosa de enfrentar los problemas del agua de uso urbano y de inducir a la conservación del agua, lo cual ha demostrado ser la forma más económica de aumentar el suministro. Cuando las políticas de gestión de la demanda son insuficientes, la adopción de nuevas tecnologías y las estrategias para aumentar los suministros pueden ser útiles a pesar del hecho de que parecen ser muy gravosas.

1. Introducción

Un panorama de la gestión del agua de uso urbano y de los problemas que enfrentan quienes se encargan de dicha gestión en los Estados Unidos de América (EUA) sugiere que la situación general del agua se puede caracterizar como “post moderna”. Virtualmente, toda la población urbana de los EUA tiene acceso a generosos suministros de agua limpia y saludable y puede contar con buenas instalaciones sanitarias. Aunque las enfermedades causadas por el agua son ocasionales –con mucho son la excepción–, los problemas que enfrentan los administradores del agua de uso urbano a lo largo del país son en muchas formas tan abrumadores como los que enfrentan las naciones que tienen problemas de suministro de agua y de servicios sanitarios. A pesar de que los suministros existentes para la mayoría de las áreas urbanas en los EUA son más que adecuados, la disponibilidad de nuevos suministros para soportar el crecimiento urbano representa un problema en muchas regiones a medida que la escasez del agua es mayor. La calidad de los suministros de agua de uso urbano se ve también amenazada por el surgimiento continuo de nuevos contaminantes químicos y agentes biológicos asociados con el desarrollo de nuevos pro-

cesos y productos industriales. Otro factor que amenaza la disponibilidad y calidad de los suministros de agua y de los servicios sanitarios es la infraestructura de servicio cada vez más obsoleta. No obstante la edad de la infraestructura para el suministro de agua, la inversión y la provisión que se destina para su renovación o actualización es muy poca.

La situación del agua de uso urbano en los EUA, por tanto, contrasta con la situación del resto de los países de América. Los problemas que enfrentan los EUA son problemas de mantenimiento y renovación de los sistemas de agua, de deterioro continuo de la calidad de las fuentes de agua y de escasez de la misma, lo cual prevalece particularmente en regiones donde el crecimiento urbano tiende a concentrarse. Estos problemas son tanto tecnológicos como institucionales y, si van a resolverse, debe disponerse de cantidades significativas de investigación, voluntad política y recursos públicos. Resulta algo irónico que estos problemas se encuentren en las mismas categorías en las que se encuentran los problemas de los países en vías de desarrollo –infraestructura, falta de compromiso gubernamental, apoyo financiero inadecuado, una necesidad de instituciones efectivas que incluyan entidades regulatorias y la necesidad de mejorar y actualizar la tecnología.

El resto de este capítulo está organizado en cuatro secciones: la primera describe la situación general del suministro de agua de uso urbano en los EUA; la segunda trata de los problemas de la escasez del agua y la descripción, análisis y evaluación de las soluciones disponibles; la tercera aborda las soluciones potenciales de los problemas de mantenimiento, la protección de los suministros de agua de uso urbano y se revisan y analizan los servicios sanitarios. Las secciones finales contienen algunas conclusiones y recomendaciones.

2. Suministros para el agua de uso urbano y servicios sanitarios en los EUA. Generalidades

En 2005, el último año en el que se cuenta con estadísticas integrales sobre el agua, el uso de agua urbana sumó un total aproximado de 61.1 X 10⁹ m³/año en los EUA; de este total, dos tercios provenían

de fuentes de agua superficiales y un tercio de aguas del subsuelo. En el mismo año, el uso de agua urbana destinada para el consumo en los EUA fue de 21.1%. La figura comparativa para 1950 fue de únicamente 9.7%. El crecimiento del uso del agua en las urbes después de 1950 fue contabilizado por aumentos en la población –la cual se duplicó– y en el uso per cápita, que creció un poco menos de 50%. El crecimiento del consumo per cápita se contabilizó por el gran aumento del uso del agua para el riego de paisajes, sobre todo en las áreas áridas del oeste de los EUA (Kenny *et al.*, 2009). A pesar del crecimiento de la población y del crecimiento del uso per cápita, la mayoría de las áreas urbanas han contado con generosos suministros de agua de alta calidad para uso doméstico.

La explicación radica en los altos niveles de inversión pública y privada que se destinaron al almacenamiento del agua y a instalaciones para su distribución que prevaleció durante la mayor parte del siglo XX. Graf (1999) muestra, por ejemplo, que la capacidad de almacenamiento de reservas aumentó cerca de cien veces en el transcurso del siglo. Actualmente se están construyendo y/o se tiene contemplada la construcción de muy pocos sitios para el almacenamiento del agua y se llevan a cabo muy pocos proyectos para su suministro. Hay varias razones para lo anterior. En primer lugar, la mayoría de los sitios para un buen almacenamiento ya se han desarrollado y aquellos que todavía permanecen tienden a ser costosos y su desarrollo es difícil o se encuentran lejos de los sitios en los que van a ser utilizados. En segundo, los servicios de agua ahora deben competir por el financiamiento contra una gran cantidad de otros servicios, lo cual no fue el caso durante gran parte del siglo veinte. En tercer lugar, los costos de las obras públicas se han elevado en forma desproporcionada, mucho más rápido que los costos para otros bienes y servicios. Este incremento en gasto relativo ha hecho que los sitios para almacenamiento sean menos atractivos para las áreas económica y financiera, y en consecuencia, aunque la historia reciente de la provisión de agua de uso urbano parece un éxito no calificado, existen razones para sospechar que las circunstancias futuras serán muy diferentes y que la provisión de suministros adecuados serán más complicada que simplemente desarrollar y operar almacenes de agua adicionales e instalaciones para su acarreo.

Además de las dificultades físicas y financieras que representa el aumentar el almacenamiento

de agua superficial, hay otras muchas razones para creer que el problema de obtener suministros adicionales de agua para apoyar el crecimiento urbano puede ser mucho más difícil en el futuro de lo que fue en el pasado. La primera de estas razones es una razón de localización; la escasez de fuentes de agua que surjan naturalmente es más aguda en el oeste árido y semiárido de los EUA, de lo que es en otras partes de la nación; sin embargo, la mayoría de la población que habita esta zona se concentra en las áreas urbanas. Más aún, estas áreas urbanas que incluyen Los Ángeles, Las Vegas, Phoenix, Denver y Salt Lake City se encuentran entre las de más rápido crecimiento en términos de población. Vinculadas al incremento demográfico están las demandas significativamente crecientes por servicios adicionales de suministro de agua. El problema se complica debido al hecho de que los suministros de agua existentes están distribuidos totalmente entre una gran variedad de usos dentro de los sistemas prevalecientes con derechos al agua. De hecho, el crecimiento en la demanda por agua de uso urbano es la parte más importante, porque el agua es naturalmente escasa y la competencia por los suministros disponibles es especialmente aguda. Asimismo debemos notar que también hay recortes de agua en las regiones más húmedas del este del país, tanto por el crecimiento de la población como por la falta de confianza en los suministros acostumbrados (Feldman, 2007 y 2008).

Las implicaciones que tiene el cambio climático en la disponibilidad de suministros de agua de uso urbano en los EUA no son claras. El aumento en la temperatura incrementará la demanda ambiental por agua, lo que resultará en pérdidas de consumo adicionales debido al aumento en la evaporación y en la transpiración. Los posibles cambios en el horario de los suministros disponibles pueden también servir para reducir los suministros *de facto*. Muchas áreas urbanas del oeste dependen de que se derrita la nieve para ver éstos durante el cálido verano y el principio del otoño. La posibilidad de líneas de nieve más altas y de que la nieve se derrita cada vez más pronto en la primavera podría cambiar el patrón de suministro al reducir en forma absoluta los suministros acostumbrados y por la alteración de los tiempos de la disponibilidad del agua. Tal parece que el cambio climático podría tener diferentes efectos en diferentes regiones y es difícil ofrecer conclusiones sólidas sobre posibles impactos en cualquier región

específica o en el país como un todo. El aumento que se predice en eventos extremos puede tener impactos adversos en la calidad del agua y en la disponibilidad de suministros (Bates *et al.*, 2008).

Además de todo lo anterior, hay un serio problema debido a la obsolescencia de la infraestructura tanto del suministro de agua como de los sistemas sanitarios. En 2013, la Sociedad Americana de Ingenieros (The American Society of Civil Engineers) reportó que los sistemas de agua potable en los EUA enfrentan un déficit de 11 billones de dólares para reemplazar las instalaciones obsoletas y cumplir con las futuras regulaciones federales sobre el agua. El reporte también mencionó que los costos de tratar y distribuir el agua potable son superiores a los fondos disponibles para el sostenimiento de dichos sistemas. Este problema se extiende no sólo a los proyectos que pueden suscribirse federalmente, sino también a los servicios locales que continúan teniendo déficits operativos. La actual falta de voluntad de los políticos electos para destinar los fondos adecuados para reemplazar y sostener la infraestructura del agua potable y de los servicios sanitarios parece destinada a crear una situación en la que está en riesgo la confiabilidad de dichos sistemas para proteger la salud pública y ofrecer servicios públicos críticos de entrega (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles, 2013).

El panorama con respecto a la calidad del agua es con mucho lo mismo. Durante el siglo XX, la calidad de los suministros de agua de uso urbano en los EUA fue la misma que en cualquier lugar del mundo. En los primeros años, el advenimiento de la desinfección y de otras prácticas sanitarias mejoradas redujo la incidencia de las enfermedades provocadas por el agua, como el cólera y la tifoidea. En la última mitad del siglo pasado, estas enfermedades fueron virtualmente eliminadas, al igual que otras provocadas por el agua y por otras amenazas a la salud pública debidas a instalaciones sanitarias inadecuadas y a la gestión de aguas residuales. En la segunda mitad del siglo pasado se agregaron nuevas protecciones en el formulario de las modificaciones al Acta de Control de la Contaminación de Aguas Federales –conocida como el Acta de Agua Limpia (P.L. 92500, 33 USC 1151 *et seq.*) y el Acta de Agua Potable Segura (P.L. 93523) y sus modificaciones.

Dicho de una forma amplia, el Acta de Agua Limpia ofrece protección a la calidad de las aguas superficiales de la nación estipulando los niveles

mínimos de la calidad ambiental que deben alcanzar y debe regularse mediante permisos de descarga el punto en el cual dichos contaminantes entran en estas aguas. El Acta de Agua Limpia también proporcionó financiamiento significativo para la construcción de instalaciones públicas para el tratamiento de aguas residuales. Dichas instalaciones aseguran que las aguas residuales sean tratadas a un nivel secundario o superior. Por otro lado, el Acta de Agua Potable Segura regulaba la calidad de ese tipo de agua estipulando el establecimiento de las normas nacionales de aplicación legal para el agua potable, con las cuales deben cumplir los sistemas de aguas públicas. Bajo las disposiciones de esta Acta se regulan 91 contaminantes, abarcando químicos, biológicos y radiológicos. El Acta también proporciona los procesos a través de los cuales se pueden añadir contaminantes adicionales a la lista. Estas leyes han sido de gran utilidad a la nación para proteger la calidad del agua potable y para limpiar y proteger la calidad de los cuerpos de agua superficiales de la nación; sin embargo, hay señales de que la protección de la calidad del agua en general y de la del agua potable también puede verse en peligro en el futuro.

Nuevos contaminantes potenciales aparecen en el medio ambiente casi todos los días. Éstos vienen de la industria, de la agricultura, de los químicos farmacéuticos, de las minas de carbón y de la extracción de gas natural. De conformidad con las disposiciones del Acta de Agua Potable Segura, estos contaminantes potenciales se encuentran mencionados en la Lista de Posibles Contaminantes (Contaminant Candidate List). Más aún, el Acta indica que debe investigarse para evaluar los riesgos a la salud relacionados con cada contaminante. La investigación pretende servir como base para decidir si el contaminante debe regularse y, en caso afirmativo, a qué niveles. El Acta requiere que se tomen decisiones para regular o no al menos cinco contaminantes por cada periodo de cinco años. Venkataraman (2013) documenta que el hecho de que la cantidad de contaminantes en la Lista de Posibles Contaminantes aumenta más rápido que la capacidad de la Agencia de Protección Ambiental para evaluarlos. En consecuencia, sin financiamiento adicional, la lista de contaminantes en espera de decisiones sobre acciones regulatorias continuará creciendo.

El panorama que emerge es uno en el que los procesos existentes para identificar y evaluar nue-

vos contaminantes no están adecuadamente escalados y financiados. No hay tampoco forma de controlar la cantidad de nuevos contaminantes que puedan surgir, ya que eso está en función del crecimiento económico y de la innovación, y los detalles relacionados con éstos aún no están regulados. A pesar de lo anterior, y de los hechos que rodean las cantidades disponibles de agua, el público parece no estar al tanto de la amenaza que ello representa. Venkataraman (2013) reporta los resultados de una serie de encuestas que muestran un serio descenso en el interés del público por la calidad y disponibilidad de suministros de agua. Él atribuye esta falta de conciencia al hecho de que los factores que amenazan la disponibilidad y la salud de los suministros de agua están escondidos; además, observa que los precios que los consumidores pagan por los suministros de agua y por los servicios de tratamiento de aguas residuales en los EUA son muy bajos, promediando en este país sólo 0.3% del ingreso disponible, lo que tiene como consecuencia que el usuario cubra solamente una pequeña proporción de los costos que se requieren para tratar y distribuir un agua segura.

La situación del suministro de agua y los servicios sanitarios en los EUA es un buen ejemplo de “la paradoja del agua en las naciones en desarrollo” (Venkataraman, 2013). Grandes cantidades de agua de alta calidad han estado históricamente disponibles a un bajo costo virtualmente en cualquier área urbana; de manera similar, las instalaciones con tecnología avanzada para el tratamiento de agua han ayudado a asegurar que la nación disfrute de servicios sanitarios que son equiparables a cualquier otro en el mundo. La cantidad y calidad de estos servicios corren ahora un gran riesgo. La escasez fundamental del agua, una infraestructura obsoleta, la falta de planes adecuados para reemplazarla y mantenerla, la apatía pública y una aparente falta de voluntad para pagar una significativa porción del capital y de los costos operativos de dichos sistemas, amenazan la futura adecuación de los suministros de agua de uso urbano de una manera muy real. La proliferación de nuevos contaminantes químicos y biológicos (y radiológicos) amenaza la futura calidad de los suministros de agua de uso urbano. Esto se debe a que los procesos actuales no están escalados y financiados adecuadamente para manejar la cantidad de posibles contaminantes que está creciendo anualmente; además, las cada vez más obsoletas instalaciones

para el tratamiento de aguas y las instalaciones sanitarias, junto con un inadecuado financiamiento para su renovación y mantenimiento representan una amenaza para la calidad de los suministros de agua de uso urbano en el futuro (ver recuadro de la gran sequía en California).

3. Enfrentando los problemas de la escasez del agua: Gestionar la demanda

Los usuarios del agua en las urbes han empezado recientemente a confrontar la realidad de la creciente escasez del líquido. Mientras los suministros existentes de agua parecen ser adecuados para dar servicios a los niveles de población en la mayoría de las instancias, las fuerzas del crecimiento económico y la población demandan suministros adicionales de agua para dar servicio a las poblaciones y economías regionales en aumento. De cara a estas demandas crecientes, los suministros en muchas áreas permanecen estáticos o están en declive. La situación del suministro parece incierta debido al espectro del cambio climático global y a las consecuencias que dicho cambio tiene en los suministros de agua a lo largo de la nación. Aunque la escasez de agua está presente en cierto grado en gran parte del país, es más intensa en las regiones áridas y semiáridas del occidente del mismo, donde la extensión de la urbanización y las tasas de crecimiento son las más elevadas de la nación.

Históricamente, los suministros de agua de uso urbano se desarrollaron extensamente en relación con el crecimiento de la población construyendo presas y canales para capturar y almacenar el agua y transportarla a las áreas urbanas en cuestión. La estrategia para desarrollar nuevos suministros de esta forma ya no es viable, debido a que los costos se han elevado y porque los suministros disponibles en la mayoría de las cuencas están totalmente asignados y no hay disponibilidad de agua libre de gravámenes. Existen, sin embargo, ciertos medios para enfrentar el problema de la escasez de agua de uso urbano, que involucran tanto el aumento en el suministro como estrategias de gestión de la demanda. Consideraremos primero las estrategias de gestión de la deman-

La gran sequía de California, 2011...?

A principios de 2011, California, el estado más grande en términos tanto de población como de actividad económica, empezó a resentir una de las más severas sequías de los tiempos modernos. El año 2013 fue el más seco de que se tenga registro y, a principios de 2014, el gobernador declaró una emergencia por sequía. En agosto de 2014, cerca de 100% del área del estado se encontraba en las garras de una severa sequía; 80% del área estaba clasificada con sequía extrema. Sequía extrema se define como una gran pérdida de cosechas y recortes de agua en toda la zona, así como restricciones en el uso del agua. Los residentes y los negocios en las áreas urbanas más grandes del estado estaban sujetos a racionamiento obligatorio de agua (San Francisco) y a otros tipos de restricciones en el uso del líquido. Todos los residentes y negocios del estado estaban también sujetos a serias multas por desperdicio de agua y por violación a las regulaciones en el manejo de la sequía. La agricultura se vio seriamente golpeada por las pérdidas económicas ocurridas en 2014, las que se estimaron en 2.2 billones de dólares y se esperaba que la pérdida de empleos alcanzara los 17 mil (Howitt *et al.*, 2014). Muchas comunidades rurales se vieron también fuertemente afectadas y se esperaba que los suministros de agua duraran unos pocos meses y se tomaran medidas de emergencia. Aunque los suministros de agua disponibles para las principales áreas urbanas fueron severamente restringidos, el sistema completo de agua parecía ser lo suficientemente flexible para anticipar dificultades extremas en el futuro próximo. Mientras tanto, las restricciones y regulaciones requerirían restricciones en el uso del agua. Eso implicaría más que una simple inconveniencia, ya que los daños urbanos debidos a niveles de disponibilidad de agua menores de lo acostumbrado, continuaban acumulándose.

Aunque la sequía actualmente adquiere mayor importancia a la vista del público, difiere fundamentalmente de los problemas de seguridad del agua de uso urbano en el largo plazo, lo cual es el tema central de este capítulo. La diferencia entre la seguridad del agua a largo plazo y la sequía es la misma que la diferencia entre escasez y racionamiento. La escasez es un fenómeno persistente que se debe manejar con técnicas flexibles y adaptables que pueden no ser efectivas a la larga, por tanto, el racionamiento se emplea frecuentemente para manejar la sequía, y es efectivo porque es ampliamente comprendido como una medida de corto plazo. Cuando se usa como herramienta para manejar la demanda sobre los riesgos de racionalización a largo plazo, se corre el riesgo de que se desarrollen mercados negros, y casi siempre implica que el agua por sí misma no es persistentemente escasa. Es costumbre de las organizaciones que gestionan el agua de uso urbano enfrentar la sequía con anticipación desarrollando sistemas de suministro con altos grados de confiabilidad, de tal forma que cuentan con la capacidad de suministrar agua, aun cuando el recurso natural es escaso. Esto tiende a evitar los problemas extremos durante la sequía, aunque en realidad a largo plazo no soluciona los problemas que constituyen la “paradoja de las naciones desarrolladas”.

En agosto, dos grandes y ampliamente divulgadas roturas en la red de suministro de agua de la ciudad de Los Ángeles ilustraron claramente la necesidad de atender los problemas de seguridad del agua en el largo plazo. Estas roturas provocaron que millones de litros de agua se derramaran en las calles e inundaran las edificaciones adyacentes. Pero que este precioso líquido fuera tan necesario en tiempos de sequía, es sólo parte de la historia. El sistema de distribución de agua en la ciudad de Los Ángeles tiene más de 100 años y se encuentra muy cerca del final de su vida útil. Un estimado de los costos de rehabilitación supera el billón de dólares. No queda claro dónde se conseguirá el dinero para esta obra ni hay en proceso un esfuerzo de planeación transparente para enfrentar un problema que representa una amenaza futura para la seguridad del agua de uso urbano en Los Ángeles. Por el momento, la sequía natural está sirviendo para distraer la atención del problema a largo plazo, el cual puede muy bien ser una sequía provocada por el hombre debido a la negligencia en concentrarse en los problemas a largo plazo de la seguridad del agua de uso urbano en una importante área metropolitana.

da que incluyen racionalización, educación, precio y la creación de mercados de agua.

Racionamiento: El racionamiento es una práctica común en los países en desarrollo y en sitios donde el agua es extremadamente escasa. Por ejemplo, el suministro de agua se raciona en Amán, Jordania, país que tiene muy poca precipitación y limitadas aguas subterráneas. Las entregas semanales de agua se pueden aumentar adquiriendo líquido adicional, pero el hecho de que los suministros se entreguen en cantidades fijas una vez a la semana tiene el efecto de limitar su uso (Zou'bi, 2011). El racionamiento tiende a ser más efectivo al limitar los usos exteriores y es particularmente adecuado para la gestión durante situaciones de sequía. Cuando el agua se entrega a través de un sistema de distribución que está constantemente activo, la aplicación de esquemas de racionamiento puede ser problemático debido a que el uso que se hace del agua en el interior es muy difícil de regular. Aun así, como el ejemplo sugiere, el racionamiento se puede ajustar a una variedad de circunstancias y, por tanto, se puede hacer que funcione en el largo plazo cuando el agua disponible se almacene en el sitio de uso y sea la cantidad almacenada lo que se racione. En forma adicional, como muestra el ejemplo de Jordania, la tendencia a racionar para engendrar el mercado negro se puede evitar creando mercados legítimos a través de los cuales los usuarios pueden aumentar los suministros disponibles pagando por ellos. Es obviamente indeseable emplear el racionamiento en circunstancias que pudieran afectar las necesidades básicas como beber, cocinar y limpiar.

Educación: Existe una clara evidencia que muestra que el uso del agua tiende a declinar cuando los consumidores saben de dónde viene ésta y cuánta usan; más aún, la evidencia sugiere que a mayor número de consumidores que saben el origen, naturaleza, tratamiento y costos del agua de la cual dependen, más cuidado tienen en economizarla. Bruvold (1988) muestra que los consumidores de agua en las metrópolis de California que están bien informados en todos los aspectos de su suministro, economizarán su uso. Michelsen *et al.* (1999) extendieron el análisis de Bruvold a las principales comunidades en el occidente de los EUA con resultados similares.

En las principales áreas metropolitanas a veces se trata de enseñar a la gente de dónde proviene el agua, los impactos de la sequía, la calidad de los su-

ministros de agua y los impactos de los sistemas de tratamiento y desinfección. Esos esfuerzos pueden tener éxito en parte; sin embargo, por ejemplo, los métodos tradicionales de informar sobre el consumo del agua tienden a hacer que sea difícil para los consumidores entender exactamente cuáles son sus niveles de uso. Frecuentemente éstos se reportan en los recibos de servicios como “unidades facturadas” no especificadas ni definidas, lo que hace que los consumidores no comprendan cuánto están usando. En forma alternativa, cuando el consumo se reporta en términos de galones por día o algo similar y los consumidores tienen una mejor comprensión de sus niveles de consumo, tienden a usar menos que los consumidores que no cuentan con esta información. Programas educativos como éste son sencillos y de bajo costo. Con frecuencia llevan a reducciones en el consumo del agua que son características cuando la gente comprende sus niveles de uso. Son también útiles para facilitar la respuesta en condiciones de sequía. Esto es particularmente cierto cuando se imponen precios o tasas especiales durante los periodos de sequía en un esfuerzo por reducir el consumo. La educación del consumidor es uno de los medios menos costosos que alientan economizar el agua (Michelsen *et al.*, 1999).

La educación pública puede ser muy importante para enfrentar el problema general de escasez de agua. Mientras se cuenta con evidencia de una disminución de la preocupación del público en cuanto a la disponibilidad y calidad del agua, varias encuestas recientes indican que la contaminación del agua potable continúa siendo una de las principales inquietudes públicas relacionadas con cuestiones ambientales. Por tanto, el Valor Xylem de la encuesta sobre el agua (2012) encontró que 9 de cada 10 personas que respondieron consideraron que el agua es un importante servicio, mientras que la encuesta del Circle of Blue (2009) encontró que más de las tres cuartas partes de los encuestados en las naciones consideraron que es importante que toda la gente tenga acceso a agua segura. Esta última encuesta también encontró que la mayoría considera que el público necesita más información para proteger sus suministros de agua. Los resultados sugieren que hay una sustancial preocupación pública relacionada con los problemas del agua y que también hay una sustancial receptividad pública a los esfuerzos para una mayor educación del

público sobre los problemas actuales del agua y sus posibles soluciones.

Precio: El precio del agua para las áreas urbanas se basa siempre en sus costos de embalse, tratamiento y entrega. Incluso, estos costos con frecuencia no se reflejan totalmente en el precio del agua (en algunas instancias el precio del agua incluye un cargo por servicios de drenaje para cubrir parte o todos los costos de su tratamiento). Lo que es más significativo es que el precio del agua virtualmente nunca incluye un componente del valor de la escasez, esto es, el agua por sí misma tiene un precio por escasez implícito de cero; este precio indica que el producto en cuestión –el agua en este caso– está libremente disponible. Sin embargo, la escasez del agua es un problema fundamental y, de cara a estas circunstancias, las políticas que sugieren que el agua está amplia y libremente disponible son perversas; además, las políticas que requieren que se incluya el valor de la escasez en el precio del agua virtualmente siempre provocan un comportamiento ahorrador en los consumidores, lo que hace que haya agua adicional disponible para dar servicio a nuevos usuarios o para usos alternativos.

La respuesta de la demanda del agua al precio se ha establecido claramente: a medida que el precio del agua aumenta, la cantidad de agua que se demanda o se usa disminuirá. La medida de esta respuesta se conoce como la elasticidad del precio de la demanda. Generalmente, la demanda por agua de uso urbano es relativamente menos elástica al precio que la demanda de agua para usos agrícolas. La falta de elasticidad significa que el impacto en la cantidad –tomado en términos porcentuales– es menor que el aumento (o decremento) porcentual del precio. La evidencia sugiere, sin embargo, que si se asigna aunque sea un valor de escasez o un precio por escasez modesto al agua, la consecuencia posiblemente será una modesta reducción en su uso (Hanemann, 1997; Schoengold *et al.*, 2006).

El precio del agua se puede fijar en forma administrativa o a través de la acción no obstaculizada de las fuerzas de oferta y demanda del mercado. Por lo general, en los EUA los precios del agua se fijan administrativamente. Sería un asunto relativamente simple incluir un valor por escasez o un valor por escasez sustituto en un precio administrado. El valor por escasez se puede inferir o estimar y sería una

aproximación del valor real. Los servicios de agua y otros distribuidores, por lo general, fijan las tasas del agua para reflejar los costos promedio de capturar, tratar y distribuir el líquido; lo que se hace para asegurar que los costos que el servicio tiene –sin incluir el costo o valor por escasez– se pueden sufragar completamente con los ingresos disponibles. Es claro que sería correcto incluir en el costo un valor promedio por escasez.

Al mismo tiempo debería reconocerse que el uso de un precio promedio tiene al menos dos deficiencias. En muchas circunstancias hoy día, el costo o valor incremental del agua es mucho más alto que el valor promedio, por tanto, por ejemplo, el agua desalinizada que la Autoridad del Agua del Condado de San Diego (San Diego County Water Authority) adquirirá y que representará 10% de su suministro cuando se haya desarrollado completamente, podría costar hasta cuatro o cinco veces más que el costo promedio de los suministros actuales; sin embargo, cuando el costo del agua se promedia con el costo del otro 90% del suministro que es mucho más bajo que el precio, el incremento de este nuevo suministro será mucho menor que su relativamente alto costo incremental (NCR, 2008). Esta tasa baja le muestra a los consumidores que el agua es mucho más abundante de lo que en realidad es; también requiere que los usuarios (y los usos) existentes subsidien a los nuevos usuarios (y usos), porque los usuarios históricos ven que sus facturas se elevan para ayudar a sufragar los gastos del costoso suministro nuevo que se necesita debido a que hay nuevos usuarios, que al final pagarán menos del costo total de los nuevos suministros que requieren. En ocasiones es difícil estimar los costos incrementales, pero al aumentar las tasas por bloque, que es lo que con frecuencia hacen las compañías que proporcionan servicios de energía eléctrica, puede aproximar los costos incrementales y proporcionar incentivos para economizar que son muy similares a aquellos que ocurrirían si se usaran los costos incrementales reales. Los precios incrementales para los suministros de agua de uso urbano tienen como consecuencia un uso más eficiente del agua por parte del sector urbano. Una asignación eficiente significa que el agua se dedica a los usos con más alto valor dentro del sector en cuestión.

La literatura académica sugiere que tal vez sea necesario que el precio probable del agua forme al

menos parte de alguna estrategia para gestionar la escasez del agua (ver, por ejemplo, Baumol y Oates, 1979). Los precios que son aproximadamente exactos envían información importante a los consumidores sobre la relativa escasez del agua y los induce a economizarla. El sistema de precios no siempre trabaja a la perfección y, por tanto, puede haber circunstancias en las cuales sea más apropiado utilizar una estrategia mezclada que incluye fijar precio. Los precios tienen la ventaja de restringir el uso excesivo y el desperdicio de los recursos, y ésta es una parte esencial de cualquier esfuerzo destinado a gestionar la escasez del agua (Baumol y Oates, 1979). Este hecho, junto con los precios actuales del agua, raramente cubre más de una pequeña fracción del gasto y casi nunca refleja el valor de escasez del agua, lo que hace necesario el empleo de políticas de fijación de precios más claras para gestionar la escasez del agua y para facilitar la provisión eficiente de servicios sanitarios (Venkataraman, 2013).

Mercados del agua: Las políticas apropiadas para fijar los precios del agua aseguran que ésta se distribuya eficientemente dentro de un solo sector en el que se usa; por tanto, las políticas de fijación de precios apropiadas para el suministro de agua de uso urbano pueden asegurar –o ayudar a asegurar– que esta agua se use eficientemente. Los mercados del agua, en contraste, pueden asegurar que se distribuya eficientemente entre varios sectores –urbano, industrial, agrícola y ambiental. Además, los precios del agua generados por mercados que funcionan bien, casi reflejan invariablemente su valor de escasez. Los mercados trabajan facilitando el intercambio de agua de usos con valor relativamente bajo a usos con valor relativamente más alto. Es importante reconocer que las transacciones del mercado son estrictamente voluntarias y que tanto el comprador como el vendedor se verán beneficiados por dichos intercambios. El comprador se beneficia al comprar agua más económica que cualquier fuente alternativa, porque el precio del agua que adquiere a través de los mercados es menor que el valor que pudiera obtener al ponerla en el uso deseado. El vendedor se beneficia porque los precios de venta exceden el valor que podría obtener al poner el agua en sus usos más valorados. Todas estas condiciones se cumplen cuando el agua se comercializa en forma exitosa en los mercados.

Las transferencias del mercado en el sector del agua no se limitan a comercializar los derechos sobre el agua; ésta se puede vender en mercados al contado para transferencias únicas, se puede arrendar por periodos determinados y puede ser objeto de contratos contingentes en los cuales un comprador potencial paga a un vendedor potencial una cuota por la oportunidad de comprar el agua cuando la necesita. En este último caso se debe pagar un precio adicional si y siempre y cuando el agua se transfiera realmente; por ejemplo, el Distrito metropolitano del agua del sur de California (Metropolitan Water District of Southern California), un importante proveedor de agua de uso urbano para el área conurbada de Los Ángeles, ha celebrado contratos de contingencia con varios distritos agrícolas que ayudarían a asegurar la disponibilidad de los suministros urbanos en tiempos de sequía.

Cuando los mercados del agua trabajan bien, la distribución resultante de ésta entre los diversos sectores se hace más eficiente, esto es, no hay distribución alternativa entre los sectores que pudiera llevar a un valor agregado más alto del agua en y entre los usos. La experiencia muestra que hay más intercambios entre el sector agrícola o entre los sectores agrícola y urbano. De hecho, la agricultura es vista algunas veces como “el proveedor de último recurso”; en dichos intercambios, el precio que el vendedor agrícola recibe, más los costos de transporte y tratamiento, son exactamente iguales que lo que el comprador urbano paga. La existencia de mercados del agua ayuda a asegurar que ésta se pueda transferir de usos de bajo valor a usos de alto valor. Sin los mercados, es posible que se continúe dando servicio a usos de bajo valor aun cuando no haya agua disponible para usos de alto valor (National Research Council, 1992).

Los mercados del agua no son perfectos ni son la panacea; sin acuerdos especiales, los usos ambientales del agua, los cuales generalmente no son consuntivos, no pueden competir sobre las mismas bases que los usos urbano, industrial y agrícola, que sí son consuntivos. Los usos ambientales del agua, que proporcionan los servicios y los recursos ambientales, son vistos como bienes públicos; esto es, cuando un individuo recibe un servicio ambiental no es posible retirarlo a otras personas aun cuando éstas se nieguen a pagarlo. El resultado es una sub-inversión

en el desarrollo de un servicio ambiental debido a que un proveedor no puede capturar el valor, y éste no puede cobrarse a los consumidores que lo usan gratis. Hay una diversidad de soluciones, entre otras: 1) fondos especiales o designados, lo cual puede ser públicamente adecuado, que se puedan usar con la finalidad de comprar agua para fines ambientales; 2) un impuesto sobre las ganancias de otras transferencias de agua que se puede usar para adquirir agua adicional para fines ambientales, y 3) una legislación especial que proteja o designe protección al mercado de agua de uso ambiental que facilite su transferencia para otros usos (National Research Council, 1992).

Hay otros problemas que deben enfrentarse en el diseño de mercados de agua, entre ellos, impactos adversos en la gente que no forma parte de la negociación de transferencia. Por ejemplo, la gente que se encuentra aguas abajo de una transferencia, que depende del flujo acostumbrado del río para su propio suministro, podría sufrir una transferencia aguas arriba de la cual ellos no forma parte debido a la reducción en el flujo. Las transferencias de mercado pueden también tener efectos adversos en la calidad del agua debido a que la capacidad de dilución del flujo se reduce; es necesario, entonces, que los mercados se diseñen y se supervisen para asegurar el acomodo de los usos ambientales, que impacte poco o nada en terceras partes y que no haya otros impactos no anticipados o que no se hayan tomado en cuenta, como los precios. Los mercados pueden ser particularmente efectivos cuando se usan como parte de una estrategia mezclada para resolver la escasez. En el caso de transferencias del sector agrícola al sector urbano, los suministros de las áreas urbanas pueden incrementarse absolutamente con un aumento en el valor total de la escasez de agua para los diversos usos.

4. Solución a los problemas de la escasez del agua: Aumento en la tecnología y en los suministros

La histórica estrategia de EUA para aumentar el suministro mediante la construcción de instalaciones para almacenar y transportar el agua ha dejado de

ser un medio viable para enfrentar la escasez. La falta de colocación de agua, la ausencia de sitios para embalse física y económicamente deseables y la competencia por el financiamiento refuerza esta conclusión; sin embargo, la tecnología moderna, junto con la escalada de costos de fuentes alternativas de agua, significa que las aguas de dudosa calidad se pueden tratar y mejorar hasta llevarlas a niveles adecuados para la mayoría de los usos. Las aguas residuales domésticas (e industriales) que se descargan en sistemas de drenaje centralizados pueden reciclarse y reutilizarse dependiendo del nivel de tratamiento deseado y de los costos. En EUA las normas relativamente exigentes de la calidad del agua de la superficie y las regulaciones de descarga (que requieren un permiso para descargar) significan que las aguas residuales sanitarias (y en algunos casos las aguas de tormenta) se pueden tratar para satisfacer estas normas. Los costos de reúso se calculan adecuadamente a medida que los costos de hacer que el agua sea adecuada para reutilizarse *sobre y más allá* de los costos de cumplir con las normas de descarga y de calidad de agua que se recibe. En algunos casos, las aguas residuales tratadas se pueden usar para riego de paisajes y para otros usos no potables en los cuales se requiere poco o nulo tratamiento adicional más allá de lo que indican las normas de descarga.

La importancia de considerar el costo se ilustra muy bien al examinar las tendencias actuales en el uso industrial del agua. Las cantidades de agua destinadas a fines industriales en los EUA bajan en forma significativa después de la promulgación de las normas nacionales de la calidad del agua de la superficie y de los controles en las descargas. La explicación radica en el hecho de que una vez que las compañías han tratado las aguas residuales para cumplir con las normas de descargas, los costos adicionales de restaurar la calidad del agua para volver a usarla son bastante modestos. La consecuencia fue que muchas firmas descubrieron que era económico reutilizar las aguas residuales tratadas para los procesos industriales. De esta forma, la llegada de la protección de la calidad del agua y las regulaciones brindaron incentivos a la industria para economizar y reutilizar el agua.

Hoy día, la moderna tecnología para el tratamiento de aguas residuales es lo suficientemente avanzada de tal forma que las aguas residuales domésticas e industriales se pueden tratar para cum-

plir con las normas para su reutilización como agua potable; por ejemplo, el Distrito del Agua del Condado de Orange (Orange County Water District) en el sur de California produce cantidades significativas de agua a partir de aguas residuales, las cuales se vuelven a cargar en acuíferos locales. El agua en última instancia se extrae para dar servicio a necesidades domésticas. Las circunstancias únicas del Distrito del Agua del Condado de Orange se analizan en otro párrafo (ver recuadro). El Distrito utiliza cierta cantidad de tecnologías incluyendo membranas para procesos de ósmosis inversa para inyectar el agua directamente en el acuífero. La más avanzada de estas tecnologías es costosa y se puede utilizar en forma económica sólo dentro de ciertas condiciones (Mills, 2010).

Es importante reconocer que es poco probable que la capacidad de emplear las diversas tecnologías avanzadas que se analizan en este documento se use en todos lados. La tecnología por sí misma es costosa tanto en términos de costo de capital como en costo de operación y mantenimiento. Operar la tecnología requiere de mano de obra relativamente capacitada, lo que también representa costos más altos y, posiblemente lo más importante, el desempeño de la tecnología debe medirse y monitorearse constantemente para verificar que está funcionando al nivel prometido. En resumen, las opciones que se analizan aquí parecen ser atractivas sólo en circunstancias en las cuales las fuentes de suministros alternativas son muy costosas y se dispone de gran cantidad de recursos y de experiencia para construir y emplear los tecnológicamente avanzados sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Reciclaje del agua: Aproximadamente 35% del efluente de aguas residuales municipales que se descarga diariamente en EUA va al océano o a un estero. Reutilizar estas descargas costeras aumentaría el agua disponible en 6% del total del suministro de los EUA o en 27% el suministro público (National Research Council, 2012). Las cantidades absolutas que se descargan a aguas costeras son significativas, alcanzando los 45.4 millones de metros cúbicos por día. Es posible que también haya la posibilidad de reutilizar las descargas de efluentes interiores, pero debe tenerse cuidado de evitar dañar a los usuarios de aguas abajo si se reducen los flujos. En EUA está bien establecido el uso de agua reciclada para uso no potable.

La reutilización potable es por mucho menos costosa y parte de ésta es incidental, pero no ha sido cuantificada (National Research Council, 2012); sin embargo, en las regiones costeras áridas y semiáridas en donde los suministros de agua son limitados, las oportunidades para su reutilización son sustanciales, así como lo es la gama de usos a los que pudiera destinarse.

La gran mayoría del agua que se recicla en EUA no es agua potable, por tanto, la irrigación de paisajes, de campos de golf y de vías públicas, por ejemplo, son fines en los cuales el agua reciclada juega un papel significativo. El agua reciclada también puede obtenerse en ciertas circunstancias como agua para enfriamiento industrial. Aunque las condiciones pueden variar de una ubicación a otra, la posibilidad de que se reutilice el agua no potable aumentará en los años venideros. Esto se atribuirá tanto al crecimiento en la demanda de agua para usos no potables, como al hecho de que los costos adicionales de proporcionar aguas residuales tratadas, que cumplan con las normas de descarga pertinentes para usos no potables, con frecuencia son más modestos.

El desarrollo histórico de la reutilización del agua no potable ha sido útil para mostrar al público, que en ocasiones se muestra escéptico, los beneficios de la reutilización. Estos beneficios incluyen suministros de agua más confiables que proporcionen protección contra la sequía para ciertos usos (National Research Council, 2012).

Es difícil predecir cuál es y cuál será el grado en que aumentará la reutilización del agua potable. Esto se debe a que el grado de reutilización incidental –también llamada reutilización de facto– no se conoce y podría aumentar significativamente en el futuro. La reutilización incidental ocurre debido a que ciertas aguas residuales tratadas –que cumplen con las normas nacionales– se descargan aguas arriba en los cuerpos de agua superficiales de las entradas de agua. En su trayecto por el cauce, este efluente se diluye y su calidad mejora; en última instancia, forma parte del suministro de agua en la parte baja, la cual se dedica a usos no potables o a usos potables (reutilización). El Consejo Nacional de Investigación de los EUA (U.S. National Research Council, 2012) informa que en muchas instancias el grado de tratamiento del efluente descargado, que se convierte en reutilización incidental, es menor que el de los suministros que provienen de proyectos de reutilización

Distrito del Agua del Condado de Orange, California

El Distrito del Agua del Condado de Orange se ubica en la cuenca del Río Santa Ana al sur de la ciudad y condado de Los Ángeles, y al norte de la ciudad y condado de San Diego en California. Su área de servicio es la costa del condado de Orange que, en el periodo que siguió a la Segunda Guerra Mundial, experimentó un explosivo crecimiento de la población, crecimiento que lo transformó de un área agrícola a un área urbana e industrial densamente poblada. Históricamente el área dependía del agua del subsuelo en forma desproporcionada y en la primera mitad del siglo XX la sobreexplotación de ésta empezó a ser significativa. Con el crecimiento de la población, la sobreexplotación se volvió más severa y una consecuencia seria fue que el agua de mar se introdujo en el acuífero, amenazando la calidad y la sostenibilidad del suministro básico del agua. Para solucionar el problema, el Distrito del Agua del Condado de Orange elaboró un programa y construyó las instalaciones necesarias para inyectar el agua que se tomaba de la avanzada instalación para el tratamiento de aguas residuales conocida como la Fábrica de Agua 21. La inyección de esta agua empezó en 1976 y sirvió para los fines de crear una barrera a la entrada del agua de mar y como una forma de aumentar el suministro de agua potable.

En la primera década del siglo XXI, la Fábrica de Agua 21 fue reemplazada por el Gran Sistema de Reabastecimiento de Agua del Subsuelo –una avanzada planta para el tratamiento de aguas residuales– que consiste en una barrera para la entrada de agua del subsuelo y varios campos de dispersión. La producción actual es de 200 mil m³/día con una capacidad total de 490 mil m³/día. La fuente de agua para la avanzada planta es el efluente secundario de la Planta # 1 del Distrito Sanitario del Condado de Orange (Orange County Sanitation Plant #1). Esta planta está al lado de las plantas de los distritos de agua. La mitad del agua se inyecta directamente en la barrera que evita la entrada del agua de mar después de ser tratada con ósmosis inversa. Toda el agua tratada pasa por procesos avanzados de oxidación y de microfiltración. La mitad que no se inyecta directamente se transporta a los campos de dispersión y pasa por un tratamiento de tierra/acuífero ya que se percola en el acuífero subyacente. Los pozos de extracción se retiran de las cuencas de dispersión por más de una milla y se estima que el tiempo de retención en el subsuelo, antes de la extracción, es de seis meses. Desde la perspectiva de salud pública, el proyecto ha estado limpio por más de 40 años.

El agua del subsuelo se suplementa con aguas superficiales remotas que se traen del norte de California y del Río Colorado. Estos suministros son costosos, en parte debido a las grandes cantidades de energía que se necesita para bombearlos y transportarlos desde ubicaciones remotas. En este ejemplo, entonces, el reciclaje y reutilización a gran escala y tecnológicamente sofisticados de aguas residuales es económicamente atractivo, porque los costos del suministro alternativo menos costoso son relativamente elevados y porque el Distrito Metropolitano del agua del sur de California, el cual importa los suministros superficiales, ofrece subsidios a los clientes que desarrollan fuentes alternativas de suministro para satisfacer al menos una parte de la demanda.

Este caso ilustra que la reutilización puede ser exitosa a largo plazo si se cuenta con los recursos y los conocimientos necesarios para diseñar, construir y operar las instalaciones; ilustra asimismo la importancia de los costos de fuentes alternativas de suministro para determinar el atractivo económico del proyecto. La sofisticación técnica, los altos costos y los complicados acuerdos financieros dejan claro que es poco probable que proyectos con este nivel de gastos y de sofisticación técnica sean ampliamente atractivos, a pesar de que pueden ser muy exitosos si se llevan a cabo dentro de las circunstancias adecuadas.

Fuentes: Crook, 2007; Mills, 2010.

planeados. El hecho de que se desconozca el grado de reutilización significa que no es clara la cantidad de personas que se exponen a los contaminantes que contiene dicha agua y a las concentraciones actuales de dichos contaminantes. Es notorio que en el futuro será muy importante contar con mejor información sobre el grado de la reutilización incidental, los sitios en los que ocurre y los riesgos que esta reutilización representa para los consumidores de agua.

Es importante comparar los riesgos asociados con los suministros para la reutilización potable, con los que actualmente se usan. En algunas instancias, los riesgos relacionados con la reutilización planeada son menos que aquellos derivados de los suministros convencionales. Hay casos en los que los consumidores de agua han rechazado propuestas para planear la reutilización del agua aun cuando se puede demostrar que los riesgos asociados con la reutilización del agua potable son menores que los riesgos relacionados con el uso continuado de los suministros existentes; además, los objetivos de diseño para los sistemas de reutilización deberían incluir criterios de confiabilidad y robustez.

La redundancia por lo general fortalece la confiabilidad de la remoción de contaminantes mientras que la robustez tiene que ver con la capacidad de responder efectivamente a una amplia variedad de contaminantes. Parece ser que los riesgos relacionados con la reutilización potable planeada se puede reducir a mediciones aceptables, pero los costos de hacerlo pueden ser elevados. Una vez más, la factibilidad económica y financiera de dichos proyectos dependerá en forma importante de los costos de fuentes alternativas de agua.

Los costos de la reutilización del agua varían mucho de sitio en sitio y de situación en situación. El tamaño de la planta, su ubicación y la calidad del agua de entrada, la necesidad de almacenamiento, los costos de energía, las tasas de interés y los costos de cumplir con los procesos regulatorios y de obtención de permisos varía en una amplia gama de dominios y hace que sea bastante difícil de generalizar en cuanto a costos posibles. Generalizando, parece ser que los costos de reutilización de agua potable son frecuentemente más altos que la mayoría de las opciones para economizar agua, y más bajos que los costos de desalinización del agua de mar. En el caso de reutilización para fines no potables, los costos del producto pueden ser modestos dado que los requeri-

mientos del tratamiento que involucra cumplir con las normas de las aguas residuales pueden ser modestos. En estos casos, los costos de distribución del agua son posiblemente predominantes, lo que puede ser particularmente cierto cuando el agua para usos no potables, es decir, para fines domésticos exteriores, se pueden distribuir debido a que se requerirán sistemas de tuberías dobles (National Research Council, 2012).

Hay problemas de precios con la reutilización del agua tanto para fines potables como no potables. Como ya se indicó, los costos de reutilización del agua potable pueden ser muy elevados y no ser competitivos con los costos de otras alternativas. Las tasas cargadas por el agua no potable reciclada con frecuencia no cubren los costos totales de adquirir el agua tratada, si la hay, y los costos de capital y operativos del sistema de distribución. En ocasiones se utilizan subsidios y otros medios artificiales de bajar los costos para hacer que los suministros reciclados sean atractivos y financieramente competitivos; sin embargo, a medida que la demanda por agua reciclada aumente en el futuro, es probable que los costos de estos suministros se eleven. Este hecho sirve para volver a enfatizar la importancia de los precios y la necesidad de ser realista en cuanto a que los costos y precios de los suministros de agua de todos tipos deben gestionarse en forma eficiente y efectiva (National Research Council, 2012).

La aceptación pública es un elemento importante en la realización de cualquier proyecto de reutilización de agua potable. Una cierta cantidad de propuestas de proyectos de reutilización potable que de otra manera serían justificables, ha fracasado debido a la oposición del público. Entre ellos se cuentan propuestas para construcción en Los Ángeles y en San Diego, en los cuales el público se opuso porque se volvieron contra los proveedores locales de agua en circunstancias donde la comunicación efectiva parecía imposible. Dicha oposición con mucha frecuencia se basa en mala información o falta de información exacta (Equinox Center, 2010; Ingram *et al.*, 2006). Existen, sin embargo, muchos ejemplos de proyectos de reutilización para uso potable y éstos parecen compartir características de participación temprana del público, así como de comunicación transparente y continua de la información científica y política. Estas experiencias destacan la importancia de que debe haber una comunicación extensa y

continúa al público de los problemas del agua en las áreas urbanas. Ahora se sabe que el conocimiento y comprensión de los problemas del agua son cada vez más importantes en la formulación de las alternativas para suministrar y gestionar el agua en áreas urbanas y en diversos procesos de toma de decisiones relacionados con la misma (Ingram *et al.*, 2006; National Research Council, 2012).

Desalinización: Los procesos de desalinización típicamente tratan el agua de mar o aguas salobres para producir una corriente de agua dulce y una corriente asociada de agua concentrada que contiene las sales que se extrajeron. El hecho de que gran parte de la dotación de agua de la tierra sea agua de mar y que las aguas salobres del suelo se encuentren en cualquier lugar de los EUA (Feth, 1965) hace que la desalinización sea una tecnología potencialmente atractiva para aumentar los suministros de agua dulce. Hay dos tipos de tecnología de desalinización distintos: los que algunas veces se caracterizan como tecnologías de destilación y, otras, como tecnologías de membrana. Las tecnologías de destilación se encuentran entre las de más reciente desarrollo y se basan en diferentes procesos que separan los sólidos disueltos del agua pura a través de la destilación. Dichas tecnologías tienden a consumir mucha energía y actualmente se utilizan casi exclusivamente en los países del Golfo Pérsico donde la energía es relativamente poco costosa. Las tecnologías de membrana aparecieron por primera vez alrededor de 1970. Éstas aplican presión al agua salada para forzarla a que pase por una membrana que la criba y separa los sólidos disueltos; tienden a consumir menos energía y los costos de las membranas han bajado durante los últimos años, haciendo que sean más atractivas financiera y económicamente que las tecnologías de destilación. Virtualmente, todas las plantas de desalinización construidas recientemente y aquellas que están en etapa de planeación son del tipo membrana e incluyen electrodiálisis, ósmosis inversa, nanofiltración, ultrafiltración y microfiltración (National Research Council, 2008).

La ventaja de estos sistemas es que permiten el desarrollo de nuevas fuentes de suministro de agua dulce a partir de aguas muy abundantes –dependiendo de la ubicación–, pero que están cualitativamente degradadas. Estos sistemas tienen dos desventajas principales: la primera, el costo tiende a ser muy alto comparado con el de otras fuentes mo-

dernas de agua, incluyendo la conservación y algunas reutilizaciones y esquemas de recuperación; en segundo lugar, el impacto ambiental de la corriente concentrada puede ser dañino y, en algunas instancias, la necesidad de mitigarlo o de evitarlo incrementará aún más los costos. Los dos componentes principales del costo son los costos de capital (anualizados) y los costos de la energía. Se ha estimado que en una planta de ósmosis inversa para el agua de mar, con capacidad de 189,00 m³/ día, cada uno de estos costos representaría un tercio del total. El hecho de que los costos de la energía sean desproporcionadamente grandes es también causa de preocupación debido a que, en ocasiones, están sujetos a inestabilidad significativa.

Se reporta que los costos unitarios de producir agua dulce a partir del agua de mar tienden a subir de \$0.64/m³. Muchas estimaciones de costos unitarios se subestiman debido a que no toman en cuenta todos los costos, porque el papel de los subsidios no se toma en cuenta o porque existen otros acuerdos financieros que olvidan algunos costos o subsidios ocultos (Millet, 2003). Con frecuencia es difícil identificar las distorsiones del costo como irregularidades en términos de financiamiento; las tasas de interés artificialmente bajas y afectaciones en los programas de pago no son raras y están lejos de ser transparentes. Las prácticas para fijar precios, además, confunden los costos y distorsionan el costo real del agua con la finalidad de hacerla más asequible o por otras razones. Otro ejemplo es el caso citado con anterioridad en el cual la Autoridad del Agua de San Diego intenta promediar los costos relativamente altos del agua de mar desalinizada, los cuales, cuando las plantas están completas y son operativas, contribuyen con 10% del total de suministro de agua. Un caso hipotético ilustra lo que pasa cuando se emplean prácticas de fijar precios promediando costos.

Supongamos que el costo actual del agua es \$0.20/m³. Supongamos, además, que el costo del suministro desalinizado es cuatro veces esa cantidad, esto es, \$0.80/m³. El nuevo suministro de agua se compone de 90% del suministro que cuesta \$0.20/m³ y 10% del suministro que cuesta \$0.80/m³. El costo promedio de ambos combinados es \$0.26/m³, por tanto, en lugar de cargar a los usuarios el suministro desalinizado a su costo real (0.8/m³), todos los usuarios pagan el nuevo costo promedio de \$0.26/m³. En este ejemplo, la adición de 10% al suministro, que cuesta cuatro veces

más que el suministro base y se promedia en todos los usuarios, hace que el costo del agua para todos se eleve en \$0.06/m³ o 30%. Las implicaciones de fijar precios usando costos promedio están mezcladas. Esta práctica de fijar precios asegura que el agua siga siendo razonablemente asequible y que el incremento en el precio sea relativamente modesto cuando se le compara con los incrementos en precios del incremento adicional; sin embargo, la práctica de fijar precios promediando costos amortigua el serio aumento de precio para los consumidores del nuevo suministro y, al mismo tiempo, transmite información errónea sobre el valor de la escasez del agua. Fijar precios bajos al agua envía una señal a los consumidores de que el agua es más abundante de lo que en realidad es y, por tanto, representa un incentivo para usar más agua, misma que se suministra en circunstancias de escasez. Este uso adicional es, por definición, un desperdicio; es el resultado de políticas perversas que alientan el desperdicio de un recurso escaso.

Como se mencionó con anterioridad, la magnitud exacta del costo depende de las circunstancias locales. Se sabe, sin embargo, que con las tecnologías de membrana los costos de desalinización dependen del contenido de salinidad del agua, lo que significa que casi siempre es menos costoso desalinizar las aguas salobres que el agua de mar. Lo anterior significa que los suministros tanto costeros como de tierra adentro de aguas del suelo salobres pueden ser fuentes de suministro más competitivas que el agua de mar. Es también importante reconocer que la desalinización del agua de mar casi siempre se llevará a cabo a nivel del mar y que la necesidad de bombear el producto a tierras más elevadas, hasta sus sitios de uso, incrementará el costo, por lo general, en forma significativa. Con la desalinización tierra adentro del agua salobre, los costos de transporte también pueden ser significativos, como lo pueden ser los costos de extraer la salmuera de los acuíferos; además, el segundo obstáculo más importante de la tecnología es que el costo del impacto ambiental también puede tener un efecto en el costo total.

La diversidad y seriedad de los problemas ambientales variará dependiendo de la localidad, la tecnología y del tamaño de la planta de desalinización específica; más aún, el conocimiento es limitado y, por tanto, una incertidumbre sustancial sobre los impactos ambientales que tendría la desalinización. Hay, sin embargo, tres tipos genéricos de problemas

que deben enfrentarse en la planeación, construcción y operación de virtualmente cualquier planta; éstos son intrusión, arrastre y administración centralizada. La intrusión implica la fijación o atrapamiento de organismos grandes, como los peces, en las cribas de entrada de la planta desalinizadora; esta intrusión ocurre cuando organismos relativamente pequeños quedan atrapados y luego mueren debido a la temperatura o estrellados contra las membranas. Estos problemas se pueden atenuar a cierto grado colocando entradas como las de las plantas de energía. En algunas circunstancias, la intrusión y el atrapamiento se pueden minimizar utilizando entradas debajo de la superficie o entradas en aguas profundas. Con entradas en la superficie se pueden usar sistemas de manejo de peces y cribas viajeras que se pueden utilizar para minimizar la intrusión. La necesidad de solucionar los problemas de intrusión y atrapamiento aumentará los costos tanto operativos como de capital de la planta desalinizadora (National Research Council, 2008).

El otro problema ambiental genérico se relaciona con la necesidad de manejar el concentrado, producto de desecho de la desalinización. El proceso de desalinización, en efecto, divide el agua que entra en corriente de agua dulce y en corriente concentrada; la segunda contiene sal y residuos del proceso de tratamiento. Los componentes químicos del concentrado representan problemas complejos, por tanto, se cree, por ejemplo, que los químicos con los que se limpia la membrana deben desecharse separados del concentrado. En forma similar, hay riesgos ambientales relacionados con la disposición de los concentrados, que pueden ser hostiles para especies particulares o para clases completas de organismos. La disposición de los contaminantes está contemplada en las disposiciones del Acta de Agua Limpia y en el Acta de Agua Potable Segura, de tal forma que los procesos y regímenes de disposición deben cumplir con los requerimientos regulatorios. La desalinización en tierra adentro puede implicar tipos diferentes de problemas ambientales. La sobreexplotación del agua del subsuelo y la disminución asociada con dicha explotación son un ejemplo. Las amenazas a la calidad de las aguas superficiales existentes también es una posibilidad.

Los costos incrementales de la desalinización son altos aun en los sitios donde los impactos ambientales son relativamente modestos. Estos costos

no se comparan en forma favorable con los de las muchas alternativas disponibles. Es claro que la fuente alternativa de agua menos costosa para dar servicio a las áreas urbanas en los EUA es la conservación (Equinox Center, 2010). Parece justo aseverar que las políticas de fijación de precios que llevan a precios con costos marginales de los suministros

de la desalinización y costosos proyectos de reutilización podrían por sí mismos inducir a cantidades sustanciales de conservación. Es irónico que, en este caso, las cantidades de conservación pudieran por sí mismas superar las cantidades que se suministrarán por medio de tecnologías nuevas, de elevados costos, interpretándolas así como innecesarias.

5. Conclusiones

El panorama –actual y futuro– de la gestión del agua de uso urbano que surge para los EUA se caracteriza por la paradoja del agua de las naciones desarrolladas. Virtualmente toda la población del país tiende a suministros de agua saludable y servicios sanitarios totalmente adecuados, sin embargo, los residentes urbanos y quienes gestionan el agua se enfrentan a futuro con una gran cantidad de problemas de gestión del agua, que parece ser tan abrumadora como la que enfrentan los países que no tienen un suministro completo. La escasez del agua se está intensificando, especialmente en las zonas áridas y semiáridas del occidente del país, áreas que tienen el mayor crecimiento urbano. Los problemas de la calidad del agua también se están intensificando a medida que aparecen nuevos contaminantes y los aparatos institucional y político para responder a esta contaminación son cada vez más inadecuados. El suministro de agua de uso urbano y la infraestructura sanitaria se están volviendo obsoletos. La planeación y el financiamiento necesarios para mantener y renovar la infraestructura son inadecuados y, con el tiempo, esta falta de adecuación crece. El público muestra apatía ante estos problemas sencillamente porque no está al tanto de los mismos.

La escasez del agua se está intensificando debido a la combinación de varios factores. El aumento en la demanda del agua está impulsado por el crecimiento de la población en áreas urbanas. Este incremento ocurre en un momento en el cual los suministros de agua para servir a estas áreas son estáticos y están disminuyendo. Las fuentes de suministro acostumbradas no proporcionan las cantidades adecuadas debido a que la mayoría de las cuencas de los ríos están dedicadas y porque los suministros en algunas regiones no son confiables.

El futuro deterioro en la calidad del agua puede disminuir dichos suministros aún más. La escasez del agua es peor aún debido a la falta de liderazgo político para educar a la población e informarle sobre la naturaleza del problema y obtener apoyo para enfrentar las diversas manifestaciones de éste. Las políticas para fijar precios se enfocan en recuperar los costos de suministro y tratamiento, y casi nunca incluyen o reflejan el valor de la escasez del líquido en sí. Los precios del agua que conllevan un valor de escasez de cero para los consumidores son una señal para ellos de que pueden disponer libremente de ésta. Estas políticas para fijar precios son perversas y contribuyen a que el público ignore el problema de la escasez.

Aunque no se cuenta con nuevos suministros de parte de las fuentes acostumbradas, se puede utilizar la tecnología moderna para aumentar los suministros de agua a través de la recuperación y reutilización de la misma y mediante tecnologías para desalinización; las segundas producen agua dulce a partir del agua de mar o de aguas salobres, que se cree existen en el subsuelo en gran parte del territorio de los EUA. El problema de estas tecnologías es que son muy costosas, especialmente cuando se les compara con el costo de los suministros existentes. Las actuales políticas de precios disfrazan este hecho promediando los altos costos del nuevo suministro con los costos menores (y en ocasiones mucho menores) de los suministros existentes. Esto les da a los consumidores la falsa señal de que los suministros nuevos son menos costosos de lo que en realidad son, lo que conlleva a un uso excesivo y a un desperdicio de estos suministros.

Está bien documentado el hecho de que la fuente más económica para obtener agua adicional es la conservación o economizar en el uso del agua; está

asimismo documentado que la demanda por agua responde al precio. Los precios más altos inducen a los consumidores a economizarla y conservarla. El no incluir el valor de la escasez del agua en su precio, así como el uso de trucos para disfrazar el costo real de las nuevas formas de suministro al reutilizar y desalinizar el agua, parece una autoderrota. Al fijar un subprecio al agua, en ambos casos, los consumidores reciben una señal de que el agua es más abundante de lo que en realidad es, esto es, las políticas que prevalecen hacen que subestime y se malinterprete el verdadero grado de escasez, por tanto, parte de la respuesta a los retos que están enfrentando los administradores del agua es la elaboración de políticas de precios y políticas de colocación y la creación de programas educativos que enfatizan la realidad de la escasez del agua en lugar de disfrazarla. Dichas políticas deben incluir una provisión para evaluar en forma moderna y adecuada los contaminantes que van surgiendo, en un esfuerzo por conservar, incluso por fortalecer, la calidad de la fuente del agua.

En las situaciones en donde la reforma política sea insuficiente para proporcionar cantidades adecuadas de agua de calidad adecuada, pueden considerarse importantes los esquemas de reutilización y, cuando sea factible, los esfuerzos de desalinización. Los precios de dichos suministros deben fijarse a aproximadamente a sus costos marginales para mostrar a los consumidores la escasez y el costo, y minimizar o evitar el desperdicio de recursos escasos. La experiencia de las plantas eléctricas que utilizan estructuras de precio por bloques ha sido muy exitosa y proporciona un modelo que la “industria del agua” del mundo desarrollado debería emular. Hasta cierto grado, los problemas de escasez del agua que enfrentan las áreas urbanas en EUA son problemas autoinfringidos y no hay razón para que esto sea así.

6. Recomendaciones

1. Las tres amenazas a la seguridad del agua en EUA –escasez, inadecuada y obsoleta infraestructura sanitaria y de suministro, así como un rápido crecimiento de la cantidad de contaminantes– deben enfrentarse en forma integral. Solucionar una sola amenaza sin arreglar las otras no resultaría en una seguridad sustentable del agua; más aún, para resolver los problemas con éxito, los diferentes niveles de gobierno deberían actuar en conjunto. Los problemas de la identificación de contaminantes, su clasificación y gestión son problemas del Gobierno nacional; los problemas de escasez del agua y la infraestructura inadecuada se manejan mejor en niveles de gobierno más bajos. Así, los problemas por sí mismos deben considerarse en forma integral, pero para obtener respuestas positivas se requiere de la colaboración entre los diferentes niveles de gobierno –integración intergubernamental.
2. Las políticas de precios del agua deben reformarse para que tomen en cuenta el valor de la escasez del agua y para que reflejen el incremento en los costos de los nuevos suministros. Asignarle al agua un valor por escasez y reflejarlo en el precio hará que el agua se economice y también tiene el potencial de aumentar el ingreso que se necesitará para financiar la rehabilitación, operación y mantenimiento de la infraestructura sanitaria y del agua. Tales reformas en la política del agua probablemente van a ser centrales en cualquier estrategia efectiva para proteger la seguridad del agua.
3. Los proveedores de agua y de los servicios de sanidad y suministro deben iniciar y apoyar programas sólidos de educación y comunicación. Sus objetivos serían el desarrollo de grupos de usuarios y público informados. Los usuarios y el público deberán tener una sólida comprensión de la naturaleza de la escasez del agua, de las implicaciones financieras de una infraestructura obsoleta y de los problemas de identificar y manejar los contaminantes.
4. Los gobiernos nacionales deben autorizar y proporcionar los fondos para apoyar a los programas de evaluación y regulación de contaminantes y de contaminantes potenciales. Si no se cumple con esta tarea, en el futuro impactará en forma adversa tanto en la seguridad como en la confiabilidad de los suministros de agua de uso urbano de la nación.
5. La nueva tecnología y las estrategias de aumento de suministros deberán emplearse sólo cuando se ha llevado a cabo un cuidadoso análisis de los costos de nuevos suministros y servicios, y se cuenta con un comparativo de tales costos con los de otras opciones.

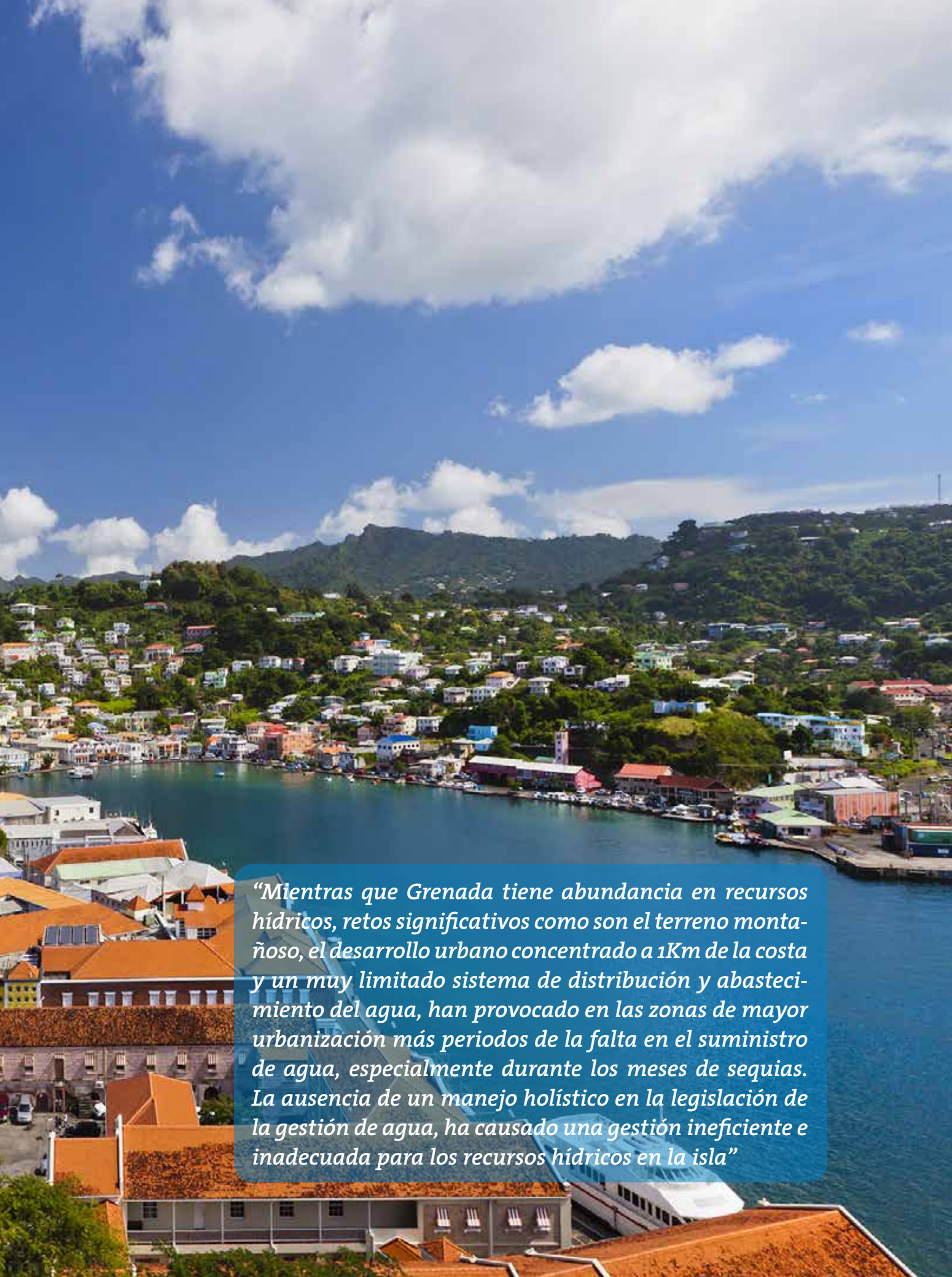
7. Referencias

- American Society of Civil Engineers. 2013. Report Card for America's Infrastructure (2013). <http://www.infrastructurereportcard.org/>
- Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu and J.P. Palutikof, eds.. 2008. Climate Change and Water: Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Geneva, CH: IPCC Secretariat).
- Baumol, William J. and Wallace E. Oates. 1979. *Economics, Environmental Policy and the Quality of Life* (Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc). pp. 112-122.
- Bruvold, William H. 1988. Municipal Water Conservation. University of California Water Resources Center Contribution # 197. (Riverside, CA: Water Resources Center). pp. 49.
- Crook, James. 2007. *Innovative Applications in Water Reuse and Desalination 2: Ten Case Studies* (Alexandria, VA: WaterReuse Association).
- Circle of Blue. 2009. Water Issues Research. http://www.circleofblue.org/waternews/wp-content/uploads/2009/08/circle_of_blue_globescan.pdf
- Equinox Center. 2010. The Potential of Purified Recycled Water. <http://www.equinoxcenter.org/assets/files/pdf/uinoxPotentialofrecycledwater-july2010finalrev.pdf>
- Feldman, David Lewis. 2007. *Water Policy for Sustainable Development* (Baltimore, MD: The Johns Hopkins University Press). pp. 881.
- Feldman, David Lewis. 2008. Barriers to Adaptive Management: Lessons from the Apalachicola-Chattahoochee-Flint Compact. *Society and Natural Resources*. Vol. 21. No. 6. pp. 512-525.
- Feth, J.H. 1965. Preliminary Map of the Coterminus United States Showing Depth to and Quality of Shallowest Ground Water Containing More Than 1000 Parts Per Million Dissolved Solids. *Hydrologic Investigations Atlas HA-199*. (Washington, DC: U.S. Geological Survey).
- Graf, William L. 1999. Dam nation: A Geographic Census of American Dams and Their Large-Scale Hydrologic Impacts. *Water Resources Research*. Vol. 35. No 4. 1305-1311.
- Hanemann, W. Michael. 1997. Price Rate and Structure. In Duane D Bauman, John J. Boland and W. Michael Hanemann, eds. *Urban Water Demand Management and Planning* (New York, NY: McGraw-Hill). Pp. 137-179.
- Howitt, Richard, Josue-Medellin-Azuara, Duncan MacEwan, Jay Lund and Daniel Sumner. 2014. *Economic Analysis of the 2014 Drought for California Agriculture*. UC Davis Center for Watershed Sciences (University of California, Davis, CA. 20 pp.
- Ingram, Peter C., Valerie J. Young, Mark Millan, Chu Chang and Tonia Tabucchi. 2006. From Controversy to Consensus: The Redwood City Recycled Water Experience. *Desalination*. Vol. 187. Nos. 1-3. pp. 179 – 190.
- Kenny, J.F., N.L. Barber, S.S. Hutson, K.S. Linsley, J.K. Lovelace and M.A. Maupin. 2009. *Estimated Use of Water in the United States in 2005*. U.S. Geological Survey, Circular 1344. 52 pp.
- Michelsen, A.M., J.T. McGuckin and D. Stumpf. 1999. Nonprice Water Conservation Programs as a Demand Management Tool. *Journal of the American Water Works Association*. Vol. 35. pp. 593 – 602.
- Miller, J.E. 2003. *Review of Water Resources and Desalination Technologies*. Sandian National Laboratories Report, SAND 2003-0800 (Albuquerque, NM: Sandia National Laboratories).
- Mills, William R. 2010. Issues in the Provision of Sanitation Services and Wastewater Reuse in California, USA. In Henry Vaux, Jr. ed. *Water Management in Iran and the United States: Proceedings of a Joint Workshop* (University of California, Berkeley, CA). Rosenberg International Forum on Water Policy.
- National Research Council. 1992. *Water Transfers in the West: Efficiency, Equity and the Environment*. (Washington, DC: The National Academies Press).
- National Research Council. 2008. *Desalination: A National Perspective*. (Washington, DC: The National Academies Press)
- National Research Council. 2012. *Water Reuse: Potential for Expanding the Nation's Water Supply Through Reuse of Municipal Wastewater* (Washington, DC: The National Academies Press).
- Schoengold, Karina., David L. Sunding and Georgina Moreno. 2006. Price Elasticity Reconsidered: Panel Estimation of an Agricultural Water Demand Function. *Water Resources Research*. Vol. 42. No. 9. September.
- Venkataraman, Bhawani. 2013. Access to Safe Water: A Paradox in Developed Nations. *Environment*. Vol. 55, No. 4. July/August. pp. 24 – 34.
- Xylem Corporation. 2012. 2012 Value of Water Index. <http://www.xylem.com/valueofwater> Zou'bi, Moneef. 2011. Personal Communication.

Grenada



St. George es la capital de Grenada. En 2004, el huracán Iván causó daños generalizados en el Caribe, y Grenada sufrió graves repercusiones económicas. Foto: ©iStock.com/Flavio Vallenari.



“Mientras que Grenada tiene abundancia en recursos hídricos, retos significativos como son el terreno montañoso, el desarrollo urbano concentrado a 1Km de la costa y un muy limitado sistema de distribución y abastecimiento del agua, han provocado en las zonas de mayor urbanización más periodos de la falta en el suministro de agua, especialmente durante los meses de sequías. La ausencia de un manejo holístico en la legislación de la gestión de agua, ha causado una gestión ineficiente e inadecuada para los recursos hídricos en la isla”

Efecto del desarrollo en el suministro y el tratamiento de aguas en Grenada

Martin S. Forde y Brian Neff

Resumen

La urbanización no es un fenómeno que se limite a los países desarrollados, sino que también ocurre en muchas naciones en vías de desarrollo como Grenada (Grenada, por su nombre en inglés), país ubicado dentro de la región del Caribe. Mientras la definición de zonas urbanas claras para una isla con una población de cerca de 100 mil habitantes distribuidos en un área muy pequeña (312 km²) puede representar un reto, existe clara evidencia de un aumento en las tasas de desarrollo y agrupamiento de las actividades humanas que pueden ser identificadas en la isla principal de este país constituido por tres islas. Dos sectores (*parishes*) en particular en la isla principal –Saint George y Saint Andrew– pueden ser considerados como sectores “urbanos” pues cerca de 60% de la población vive en ellos.

Fundamentalmente, Grenada tiene abundancia de recursos de agua dulce; sin embargo, existen en la actualidad varios retos para la administración de tales recursos. Como resultado de ello hay problemas de suministro de agua que son difíciles de resolver. Los retos clave relacionados con la administración de una creciente presencia de centros urbanos, en particular en el sur de la isla principal, van desde los legislativos (por ejemplo, no existe en el presente ninguna legislación integral general para la administración del agua), los administrativos (el único proveedor de agua también es responsable de evaluar los servicios de abastecimiento de la misma) hasta las difíciles realidades geográficas (por ejemplo, entubar el agua desde su origen en el norte hasta las zonas en el sur donde existe la demanda pasando por terreno montañoso).

1. Introducción

La urbanización no se limita a los países desarrollados sino que también está ocurriendo en muchas naciones en vías de desarrollo, incluyendo las ubicadas en la región del Caribe. En realidad, el Caribe es una de las regiones más urbanizadas del mundo con aproximadamente 69% de habitantes que residen en entornos urbanos. Para 2015 se espera que la región del Caribe observe un aumento de 4 millones de población urbana absoluta.

Cabe destacar que las tasas más altas de urbanización no ocurren donde están ubicadas las ciudades más grandes, sino más bien en áreas que anteriormente eran remotas o que contaban con poca población. Esto puede deberse a las políticas nacionales que alientan el desarrollo de ciertas zonas con fines turísticos.

Dentro de las muchas razones por las que los habitantes de las islas del Caribe optan por vivir en zonas urbanas, se encuentra la mayor disponibilidad de servicios públicos como el agua entubada, que puede estar limitada o incluso faltar en zonas rurales. La mayor demanda resultante de servicios hidráulicos

para abastecer a una cantidad siempre creciente de agua potable para las crecientes áreas urbanas puede imponer –e impone– retos para los proveedores de servicios hidráulicos que se esfuerzan por satisfacer esta demanda, a la vez que no hacen concesiones en cuanto a la disponibilidad continua o la calidad del agua entregada.

La región del Caribe abarca una mezcla heterogénea de islas que pueden diferenciarse por el idioma, la geografía, la geología, los niveles de desarrollo económico, la historia política y la cultura. Más que tratar de presentar un capítulo que detalle el efecto de la urbanización en los recursos hidráulicos para todo el Caribe, este capítulo se concentrará en un país de habla inglesa: Grenada (Grenada). Es obvio que los problemas y retos que experimenta esta muy pequeña isla no serán plenamente representativos de otras islas mucho más grandes (por ejemplo, Trinidad o Jamaica); no obstante, mucho de lo que se analice en este capítulo para Grenada también se observará en muchos de los otros estados de pequeñas islas de habla inglesa en el Caribe.

1.1 Ubicación de Grenada

Figura 1. Mapa de Grenada, Carriacou y Pequeña Martinica.



Fuente: wikipedia.org

Grenada, ubicada entre las latitudes 110 59' y 120 20' Norte y las longitudes 610 36' y 610 48' Oeste, es la más meridional de las Islas Windward (Figura 1). El país comprende tres islas principales: Grenada, Carriacou y Pequeña Martinica. Grenada es la más grande de las tres islas (312 km²), después Carriacou (34 km²) –ubicada 24 km al noreste de Grenada– y la Pequeña Martinica (2 km²) –que se encuentra al este de la sección norte de Carriacou. Así, la superficie total del país es de aproximadamente 348 km² y la longitud total de sus costas es de 121 km. Administrativamente, la isla de Grenada está dividida en seis sectores (*parishes*); Carriacou y Pequeña Martinica constituyen el séptimo sector (*parish*).

1.2 Geología y geografía

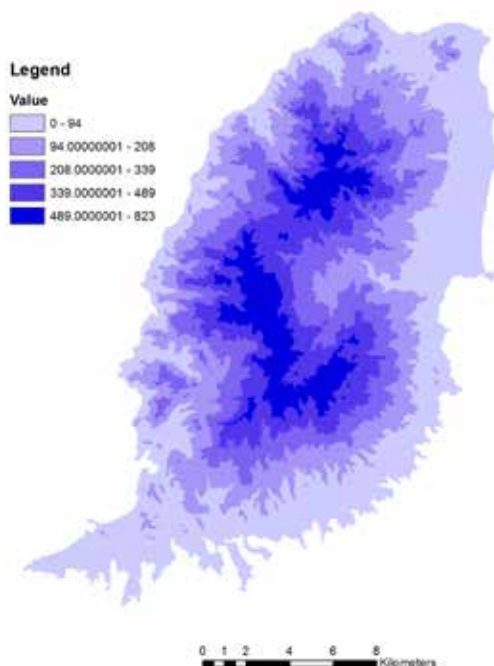
Grenada se localiza en las Antillas Menores, que es un arco largo de islas volcánicas en el Mar Caribe (Figura 1, inserto). De los tres principales grupos en los que se subdividen las Antillas Menores, Grenada pertenece al grupo de Islas Windward, que comienza

con Dominica en el norte y después continúa hacia abajo hasta Martinica, Santa Lucía, San Vicente y las Granadinas, y por último Grenada en el sur.

En su mayoría, Grenada es de origen volcánico con un centro montañoso que desciende con rapidez hacia la costa más plana (Figura 2). Las islas de Carriacou y Pequeña Martinica también son de origen volcánico y representan las cimas expuestas de picos en un solo banco angosto de montañas volcánicas sumergidas.

Aproximadamente 70% de las vertientes de las montañas en Grenada tienen una inclinación mayor a 20°, lo que predispone a los recursos terrestres a un desgaste rápido por agua y la degradación del terreno. El pico más alto es el Monte Santa Catalina a 840 m. Los picos montañosos escarpados, las agudas crestas y los profundos valles angostos que descienden hacia la costa caracterizan la topografía de la isla principal de Grenada. El 75% del total de la superficie terrestre está por debajo de los 305 m, mientras que 23.4% se encuentra entre 305 y 610 m, y 1.6% se encuentra por encima de los 610 m. Además, debido a la muy pequeña distancia promedio de 10 km desde los picos de las montañas hasta la costa, hay poca capacidad del terreno para conservar el agua. Los loams arcillosos (84.5%), las arcillas (11.6%) y los loams arenosos (2.9%)

Figura 2. Topografía de Grenada Fuente: Gobierno de Grenada



son los principales tipos de tierra que se encuentran en Grenada. La costa misma está rodeada por vastas extensiones de arrecifes de coral.

1.3 Clima

Grenada tiene un clima semi-tropical dentro del cinturón de vientos alisios del noreste del Atlántico caracterizados por un rango de temperatura promedio de 24 a 30°C. La temperatura promedio es de 28°C. Las temperaturas a nivel del mar por lo general son altas con poca variación diurna o espacial debido al efecto del océano adyacente.

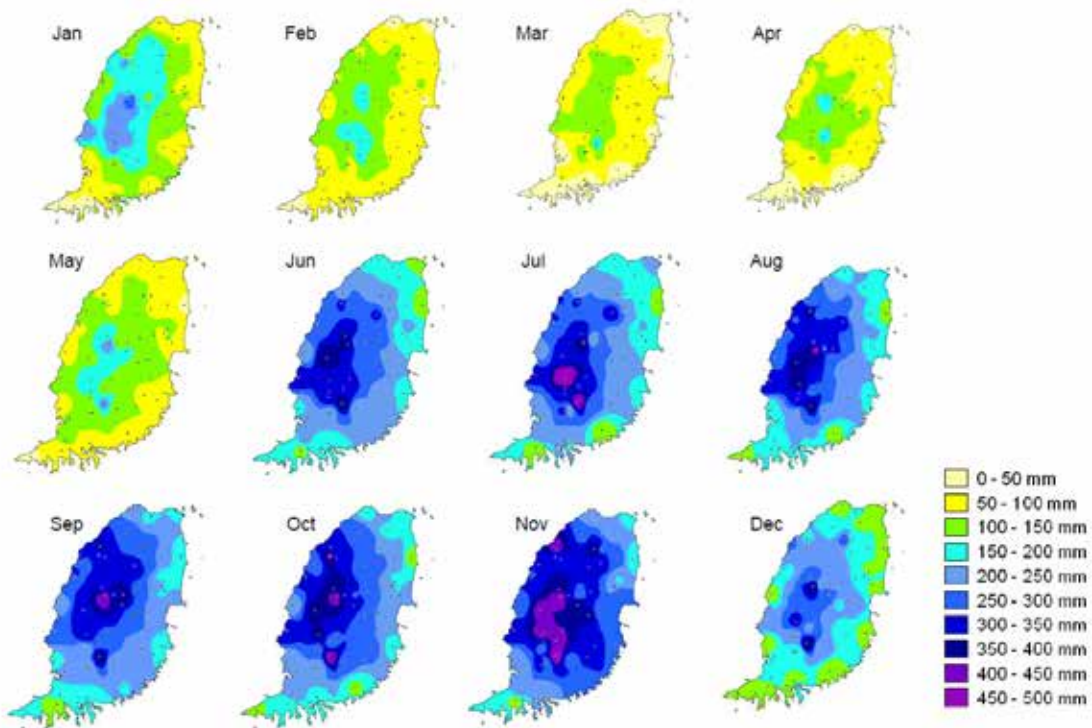
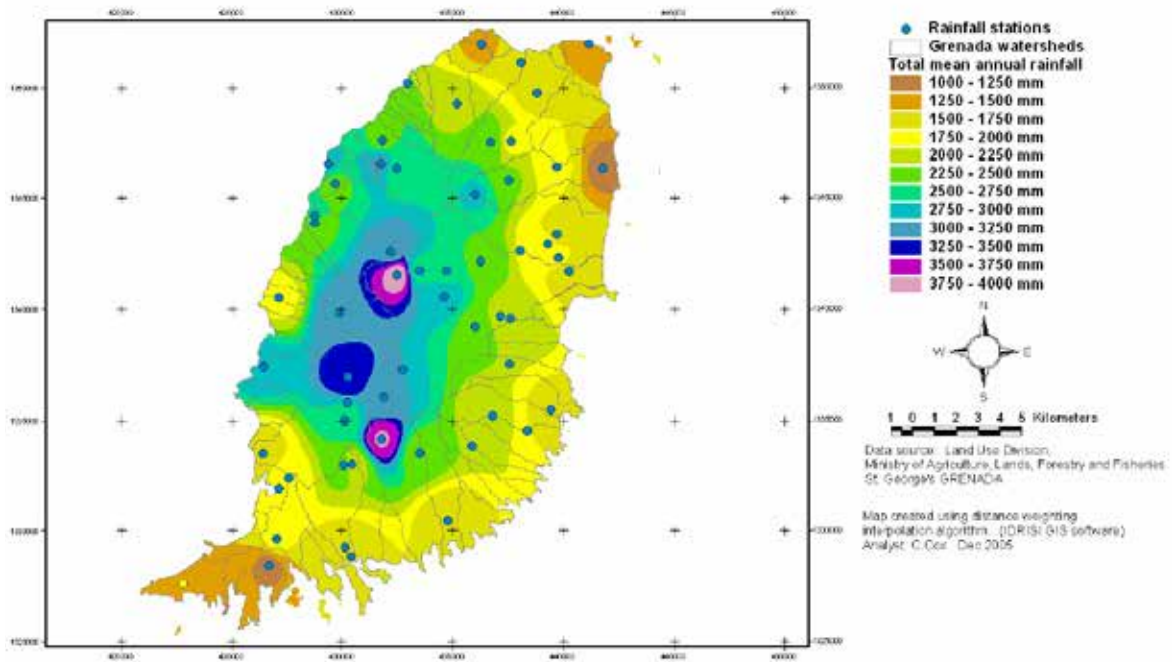
Los cambios estacionales en los vientos alisios provocan las dos principales estaciones —una estación seca que va de enero a mayo y una estación húmeda que va de junio a diciembre. Aproximadamente 77% de la lluvia anual ocurre durante la estación húmeda.

La marcada variación espacial en el patrón de lluvia a lo largo de Grenada se debe a la diferencia en las elevaciones ortográficas (Figura 3). Las altas zonas montañosas son más frescas en comparación con las bajas áreas costeras que son más cálidas. La variación en la evapotranspiración anual ha sido estimada en 1 mil a 1 mil 500 mm. Las intensidades altas de lluvia son comunes y esto provoca una severa erosión en la tierra en los terrenos inclinados. Las áreas montañosas pueden experimentar un promedio de alrededor de 3 mil 800 mm, mientras que las áreas más bajas a lo largo de la costa norte y sur pueden experimentar un promedio mucho menor de 1 mil 125 mm al año.

Esto produce diferentes zonas climáticas como se muestra en la Figura 3. Así, algunas partes de la isla tienen temperaturas moderadamente cálidas entre 20 y 22.5°C, sin estación seca y una lluvia superior a 4 mil mm, mientras que otras partes de la isla se caracterizan por temperaturas muy cálidas de más de 27.5°C, una estación seca larga y una lluvia que va de 700 a 1 mil mm.

En cuanto a Carriacou y Pequeña Martinica, debido a su menor tamaño y elevaciones relativamente bajas, son de manera significativa más secas que Grenada con una lluvia de solo alrededor de 1 mil mm. Sin embargo, en las tres islas no es raro que ocurran períodos secos largos y condiciones extremas de sequía durante la estación seca e, incluso, durante la última década se han hecho más pronunciados.

Figura 3. Zonas climáticas y variación mensual del clima en Grenada



1.4 Uso de la tierra

El área de tierra total de Grenada es de 31 mil 334 ha. El uso del terreno en Grenada está estrechamente relacionado con su historia agrícola como productor primario de azúcar, en el pasado reciente, hasta hoy en que se cultivan más frutos de árboles como la nuez moscada, el cacao y el plátano. Además, mucha de la agricultura de subsistencia ahora se lleva a cabo con la tierra que se usa para tales cultivos, desplazándose cada vez más desde las áreas bajas a las laderas de las montañas. Como resultado de ello, la cantidad de hectáreas de bosque han disminuido de forma constante desde la década de 1960 hasta la actualidad.

Aunque es difícil determinar la dimensión exacta del cambio en el uso de la tierra con el tiempo en Grenada, pues no se cuenta con información al respecto, durante las últimas dos décadas se han observado varios cambios significativos en el uso de la tierra. Primero, la tasa de tierras de cultivo abandonadas aumentó en gran medida de 144 ha en el año 2000 a más de 2 mil 428 ha en 2009, que equivale a un incremento de 1 mil 685% en la cantidad de tierras abandonadas para el cultivo (Roberts, 2013). Segundo, la tierra caracterizada como zonas urbanas y de construcción aumentó casi 25% de 1 mil 825 hectáreas (5.8%) en el año 2000 a 2 mil 267 hectáreas (7.2%) en 2009 (Roberts, 2013). En especial, después del paso del Huracán "Iván" en 2004, los esfuerzos de reconstrucción posteriores atestiguaron una expansión masiva de las actividades de construcción y la conversión de las propiedades agrícolas abandonadas y los pastizales en las áreas costeras para el uso turístico, comercial y residencial. Esta tendencia que todavía va en aumento en la urbanización con su creciente demanda de terrenos para la vivienda y otros propósitos no agrícolas, continúa provocando la invasión de los terrenos agrícolas remanentes y las áreas de cuencas clave.

En Grenada, así como en la mayoría de las demás islas pequeñas del Caribe, los pequeños agricultores representan un importante porcentaje del sector agrícola. Con excepción de la Reserva del Bosque Grand Etang, la mayoría de los terrenos de grandes plantaciones históricas se han vendido y subdividido en parcelas pequeñas que permiten la propiedad privada masiva. El tamaño típico de la mayoría de los terrenos utilizados para agricultura es de menos de 5 ha. Casi 75% de los tamaños de las granjas en Grenada son de menos de 0.8 ha. Sin embargo, esto

representa menos de 15% de las tierras agrícolas con aproximadamente 50% de los terrenos agrícolas propiedad de grupos que van de 1 a 10 hectáreas. La FAO en 2007 estimó que aunque el terreno forestal en Grenada ha disminuido 12% y el terreno agrícola llegó a 35%, solo 2% del área total de la tierra está designada como área protegida.

Otros problemas importantes del uso de la tierra observados en Grenada se enlistan a continuación:

- Desarrollos ilegales y asentamientos por invasores ilegales;
- Conflictos por el uso de la tierra entre los sectores agrícola, turístico y de construcción;
- Más asentamientos vulnerables a desastres como inundaciones, deslaves y el aumento en el nivel del mar;
- Problemas de la administración ambiental;
- Arreglos inapropiados e inadecuados para la tenencia de la tierra y la capacidad institucional para administrar la tierra; y
- Falta de marcos legales y regulatorios adecuados.

1.5 Demografía

La isla de Grenada está dividida administrativamente en seis sectores (*parishes*) y las otras dos islas –Carriacou y Pequeña Martinica (PM)– se consideran otro sector (Tabla 1.1). Con base en los datos del censo de 2011, se estima que la población de Grenada es de 105 mil 539 personas con una división por género de 51% de mujeres y 49% de hombres. El crecimiento promedio anual de la población es de 0.6% para el período de 1981 a 2001. La densidad actual de la población es de alrededor de 307 personas por km².

Dado el terreno montañoso de Grenada, la mayoría de la población reside dentro de 1 km de la costa con varios asentamientos ubicados alrededor de las desembocaduras de los ríos. El sector sur de Saint George, donde se ubica la mayoría de las actividades industriales y turísticas, representa 36% de la población. El mayor sector, Saint Andrew, representa 24% de la población y el resto de los habitantes está más o menos bien distribuido entre los otros sectores (Tabla 1).

La población de Grenada es relativamente joven con alrededor de 50% de los habitantes menores de 25 años. La fuerza de trabajo ahora es de alrededor de 42 mil personas. Una encuesta reciente sobre la eva-

Tabla 1. Distribución geográfica (censo de 2011) y densidad de población por sector

Sectores (<i>Parishes</i>)	Población					
	1991	2001	2011	Área de tierra (km ²)	Densidad 2011 (/km ²)	2021
Saint George (ciudad)	4,621	3,628	3,100	1	3,100	N/A
Saint George (resto)	27,373	27,951	34,304	64	536	40,726
Saint John	8,752	9,374	8,404	35	241	13,382
Saint Mark	3,861	4,676	4,346	25	174	4,654
Saint Patrick	10,118	11,537	10,461	42	250	12,218
Saint Andrew	24,135	27,114	26,433	99	267	28,508
Saint David	11,011	12,637	12,858	44	293	9,891
Carriacou/PM	5,726	6,219	5,633	34	166	6,982
Total	95,597	103,136	105,539	344	307	116,361

Fuente: Ministerio de Finanzas, 2014.

luación de la pobreza (Gobierno de Grenada, 2007b) mostró que 37% de la población se considera pobre y 53% se considera económicamente vulnerable.

1.6 Urbanización en Grenada

Dos sectores –Saint George y Saint Andrew– pueden considerarse “urbanos”, pues alrededor de 60% de la población vive en ellos. Se estima que para el período de 2001 al presente, la tasa de crecimiento de la población fue de 0.7%. El sector con el crecimiento más acelerado es el de Saint George, que es muy probable sea debido al hecho de que la mayoría de las actividades turísticas de la isla se encuentran localizadas en este sector y la industria turística va en expansión. La densidad de la población en el sector de Saint George es de cerca de 570 habitantes/km² que es de manera significativa más alto que el promedio nacional de 307 habitantes/km².

En general, la mayoría de los 300 pueblos y aldeas de Grenada están localizados en las áreas costeras con extensiones lineales tierra adentro a lo largo de valles y crestas montañosas. Los principales centros urbanos de Grenada son la capital Saint George, Grenville en el sector de Saint Andrew y Gouyave en el sector de Saint John. En Carriacou, el mayor asentamiento es Hillsborough. Todos estos centros urbanos se localizan en áreas costeras y se predice que crecerán hasta contener más de 60% de la población del país antes del año 2050.

1.7 Administración del agua en Grenada

En Grenada, aunque la responsabilidad de suministrar, producir y distribuir el agua en el país de tres islas fue asignada a la National Water and Sewage Authority (NAWASA, Autoridad Nacional de Agua y Alcantarillado), las funciones de su administración están muy fragmentadas. La responsabilidad de conservar y proteger todas las áreas de captación de agua también se asignó a la NAWASA. Cabe destacar que mientras la NAWASA tiene una presencia nominal en Carriacou y Pequeña Martinica, ambas islas en su mayoría dependen de suministros de agua propios o comunales. La administración del agua y los esfuerzos de reforma se analizan en mayor detalle en la Sección 3.4

2. Recursos hidráulicos y problemas causados por la urbanización

2.1 Panorama general de los recursos hidráulicos de Grenada

La isla de Grenada tiene razonablemente buenos recursos de agua dulce (Figura 4). Existen muchos ríos, riachuelos y lagos en la isla principal que contrastan con Carriacou y Pequeña Martinica, donde no existen ríos o riachuelos perennes de agua dulce.

Figura 4. Ríos, riachuelos y cuencas en los seis sectores de Grenada



Figura 5. Cuencas en Grenada



Fuente: Gobierno de Grenada

Grenada tiene 71 diferentes cuencas de las cuales la de mayor captación es la del Gran Río que comprende 4 mil 521 ha, mientras que la más pequeña de captación es la Crayfish con 27 ha (Figura 5). La mayoría de estas cuencas tiene flujos perennes, sin embargo, los flujos pueden descender de forma importante durante la temporada seca. De las 71 cuencas de captación, 23 se utilizan para suministro de agua.

Carriacou tiene 20 áreas de cuencas. No se hace ninguna diferenciación para Pequeña Martinica debido a su tamaño pequeño. No hay corrientes o manantiales permanentes en ninguna de estas dos pequeñas islas. Los suministros de agua en Carriacou y Pequeña Martinica dependen casi de forma exclusiva de la captación del agua de lluvia en cisternas, mientras que el agua para agricultura y cría de animales domésticos proviene principalmente de la extracción de agua subterránea y de superficie almacenada en estanques. Un estudio acerca del suministro de agua de Carriacou realizado en 2001 concluyó que los sistemas de captación de agua de lluvia comunitarios en toda la isla abarcaban un total de 15 ha con provisión para un total de 22 mil m³ de almacenamiento que eran suficientes para satisfacer las necesidades de agua de la isla.

Aunque hay estimaciones del rendimiento promedio de las cuencas utilizadas para el suministro de agua, no existen datos consistentes y exactos o una evaluación amplia de los recursos hidráulicos de superficie. Además, existen muy pocos datos acerca de los flujos de las corrientes que sean consistentes y a largo plazo, en particular durante los periodos de flujo alto y bajo.

2.2 Aguas de superficie

Debido a su pasado volcánico, existen tres lagos de cráteres – el Lago Grand Etang (8 ha), el Lago Antoine (17 ha) y el Estanque Levera (23 ha)–, pero el más importante que provee agua al sur de la isla es el lago Grand Etang localizado en el centro de la isla. El efluente natural en la época seca del lago Grand Etang ha sido medido como superior a 2 mil 270 m³/día.

En vista de la mayor demanda de agua, en particular en el sur urbano de Grenada, como resultado de la construcción e inversión en el sector turístico, la provisión de un suministro adecuado de agua ha cobrado mucha importancia, en especial en la estación seca cuando hay un uso máximo y al mismo tiempo

un mejor flujo en los torrentes. Por ello, el Lago Grand Etang se utiliza como fuente en la estación seca, así como los pozos perforados ubicados en el sur y sureste de Grenada. También hay un pozo perforado de uso permanente en Carriacou.

2.3 Agua subterránea

Los recursos de aguas subterráneas explotables en Grenada se encuentran en tres valles localizados en el sur de la isla: Woodland (448 m³/día), Chemin Valley (1 mil 648 m³/día) y Baillie's Bacolet (917 m³/día) con un total de 3 mil 13 m³/día. En la actualidad solo 5-10% de la demanda de agua corriente es satisfecha con suministro de agua subterránea, en especial durante la estación seca para ayudar a complementar el agua de superficie. Aunque se podría explotar más agua subterránea, existen problemas con la calidad del agua –en particular el sabor, así como el costo de bombear esta agua hasta la superficie– que hacen que esta fuente de agua se use solo de forma limitada.

Otra preocupación acerca de un uso mayor del agua subterránea es la invasión del agua salada. No obstante, se realizó un estudio en 2001 para revisar el efecto potencial de la elevación del nivel del mar como resultado del cambio climático global, y se determinó que este efecto era inferior en comparación con el peligro de bombear excesivamente los mantos acuíferos. Una vez más, al igual que con los datos del agua superficial, en la actualidad no existe un programa de recolección de datos consistente que pudiera permitir la evaluación de la calidad, la cantidad, el equilibrio de agua, los flujos subterráneos o los flujos al exterior de posibles suministros de agua subterránea.

2.4 Producción de agua

NAWASA opera 23 fuentes de agua superficial en su mayoría localizadas en las áreas superiores de captación para satisfacer las necesidades de agua de la isla de Grenada. Una revisión en el año 2006 estimó que el rendimiento de la estación lluviosa de estos recursos era de 54 mil 600 m³/día que bajaba a un máximo de 31 mil 800 m³/día en la estación seca. Una vez más, se indica que los informes actuales no aportan datos consistentes, lo que dificulta mucho evaluar cuál es el rendimiento real de cada fuente de agua que, a su vez, dificulta diseñar obras de toma, instalaciones de

tratamiento de agua y capacidades de transmisión de tubería adecuadas.

Un ejercicio de mapeo de déficit de agua realizado en 2006 indicó que durante el mes de marzo estadísticamente más seco, el total de rendimientos totales de agua cruda proveniente de los 23 depósitos de captación utilizados por la NAWASA estuvieron muy bajos en los casos en los que la lluvia media mensual estaba cerca o por debajo de las pérdidas de evapotranspiración. Este hecho es muy significativo, pues durante el mes de marzo la demanda nacional diaria estimada excede a la del agua proveniente de las fuentes de superficie. Mientras se utiliza almacenamiento de agua cruda, en esencia agua que ha estado almacenada en el Lago Grand Etang, ayuda en algo a compensar esta escasez. Esta situación destaca la situación de la escasez que prevalece durante los meses de la estación seca.

El estudio antes mencionado extendió el análisis del déficit de agua para generar la variación espacial en el número de casos en los que la evapotranspiración excede el ingreso de lluvia, y encontraron que las áreas costeras del norte y la parte más al sur de la isla de Grenada tienen los períodos más largos de déficit de agua. Ésta es una preocupación particular, pues la mayor cantidad de desarrollo y urbanización se está dando en las áreas costeras ubicadas más al sur. Además, es probable que este problema se empeore aún más antes de que mejore, pues esta misma área es también donde se localiza el “cinturón turístico”. Los planes actuales y futuros proyectados indican que la industria turística va a continuar expandiéndose en forma constante tanto en tamaño como en demandas en los siguientes años.

En 1998, una planta de desalinización con capacidad de 1 mil 818 m³/día fue instalada a fin de ayudar a aumentar el suministro de agua a las co-

munidades sureñas. Plantas similares –pero más pequeñas– también fueron instaladas en Carriacou (454 m³/día) y Pequeña Martinica (136 m³/día), pero ambas se encuentran actualmente en diversos grados de descompostura. Varios hoteles grandes en el sur de la isla también han instalado sus propias plantas pequeñas de desalinización para aumentar su suministro de agua. Una institución, la Universidad de Saint George, localizada en la punta sur de la isla, instaló una planta de desalinización grande que tiene capacidad para producir 908 m³/día. El consumo actual va de los 340 a los 450 m³/día, lo que permite satisfacer todos sus requisitos actuales de agua.

Como se mencionó con anterioridad, la captación del agua de lluvia satisface casi 100% de la demanda de los hogares en Carriacou y Pequeña Martinica.

2.5 Oferta y demanda de agua

En la actualidad, 97% de la población urbana y 93% de la población rural tiene acceso al agua potable. Los valores del consumo per cápita para Grenada se han estimado entre 130 l/día y 150 l/día; en Carriacou y Pequeña Martinica las tasas de consumo se estiman en 100 l/día. El agua no contabilizada (*unaccounted for water, UFW*), también conocida como agua sin aprovechamiento (*non-revenue water*), se ha estimado en 33% de la producción.

La demanda de agua estimada para el año 2010 para el norte y el sur de Grenada indica una demanda promedio diaria (*average daily demand, ADD*) de 31 mil 877 m³/día, o una demanda anual de 11.6 millones de m³ (Tabla 2).

Las 23 instalaciones de suministro de agua de superficie y las 6 de agua subterránea en Grenada producen 12 millones de galones por día (mgd) en la estación lluviosa que se reduce a un mínimo de

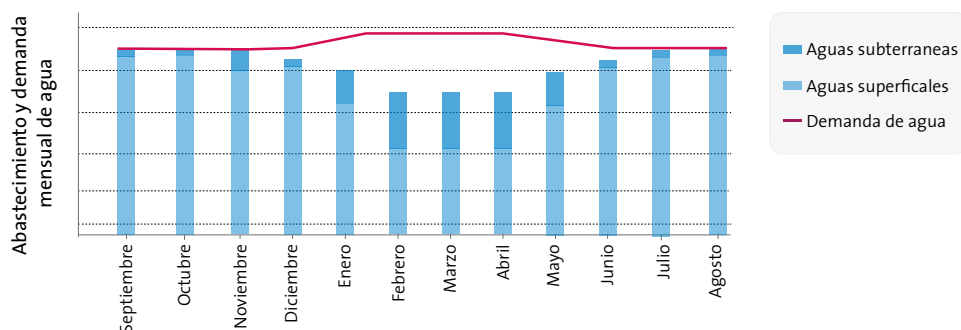
Tabla 2. Estimados de la demanda de agua para Grenada en 2010

Area	Total Cons. (m ³ /d)	UFW (m ³ /d) *	ADD (m ³ /d)	Producción de Agua (semana más seca 1999/2000) (m ³ /d)	Producción de Agua (prom. anual 1999/2000) (m ³ /d) **
Northern Grenada	9,094	4,479	13,573		8,835
Southern Grenada	12,076	6,228	18,304	16,540	20,761
Total	21,170	10,707	31,877		29,596

Fuentes: Stantec (2001), Witteveen+Bos (2001).

Notas: *Agua no contabilizada (*unaccounted for water, UFW*) 33% de la producción para Grenada Norte y 30% para Grenada Sur.

**Para Grenada Norte, capacidad de las plantas en 2001.

Figura 6. Oferta (mgd, barras con diagonales) y demanda (línea) mensuales de agua de superficie y subterránea.

8 mgd en la estación seca (Figura 6). La demanda de agua en la estación lluviosa es de 10 mgd que se eleva a 12 mgd en la estación seca. Suponiendo que no ocurriera un cambio importante con respecto a la capacidad de producción de agua de la NAWASA, se puede concluir que habrá, en particular en la región sur de Grenada, una falta significativa de agua durante los meses de la estación seca del año.

Una forma en que la NAWASA está tratando de mitigar este déficit es aumentando su capacidad de almacenamiento de agua. Con base en una revisión del sector hidráulico de Grenada realizada en 2007 (Gobierno de Grenada, 2007b), la capacidad disponible de almacenamiento de agua en los depósitos de captación de agua de lluvia solo puede satisfacer el requerimiento mínimo de cien días para la demanda de la estación seca de la población humana actual, pero el agua disponible de los estanques y los pozos excavados solo puede satisfacer 80% (80 días) de la demanda del ganado.

2.6 Problemas causados por la urbanización en el sector hidráulico

La urbanización, y más generalmente el continuo desarrollo económico, en particular en el sector turístico, junto con un continuo crecimiento demográfico, han provocado el aumento de la demanda de agua potable y los retos en la administración de los recursos hidráulicos de Grenada. Durante los últimos 30 años, el mantenimiento y las mejoras necesarias a la infraestructura de los recursos hidráulicos no han seguido el paso de las demandas que se les han impuesto. Como resultado de ello, el sistema actual de suministro de agua no es lo suficientemente flexible para asegurar la satisfacción del suministro de agua de buena calidad en la cantidad requerida, en especial durante la

estación seca. Esta situación se agrava aún más por la poca exigencia del cumplimiento con los reglamentos de administración de los recursos hidráulicos y la muy precaria posición financiera de la agencia NAWASA, que tiene órdenes de proporcionar y mantener de forma adecuada los recursos hidráulicos al público en general.

Una revisión del sector hidráulico de Grenada realizada en 2007 identificó cuatro retos clave para la sustentabilidad de la administración integrada de los recursos hidráulicos y los servicios hidráulicos:

1. **Sustentabilidad Financiera:** El acceso históricamente precario y limitado del Gobierno de Grenada a los recursos financieros ha significado que tenga gran dificultad para proporcionar suficientes fondos para financiar las inversiones de capital necesarias para asegurar la provisión adecuada de infraestructura para los recursos hidráulicos, así como encontrar los fondos para llevar a cabo el mantenimiento necesario y el eventual reemplazo de los recursos hidráulicos conforme se desgasten y agoten.
2. **Sustentabilidad Institucional:** En Grenada, la misma agencia –NAWASA– que suministra el agua al país también se autorregula. Así es que existe la necesidad de establecer una unidad independiente para la administración de los recursos hidráulicos que pueda realizar el mapeo del agua, la proyección de la demanda y las pruebas de aseguramiento de la calidad del agua.
3. **Sustentabilidad Operativa:** Ésta es contingente al establecimiento de los precios de los servicios hidráulicos para recuperar la totalidad de los costos e invertir el capital captado en la operación y el mantenimiento para ofrecer mejores estándares de servicio. En las condiciones actuales, el Gobierno establece las tarifas que

NAWASA puede cobrar, que no corresponden con los costos incurridos para producir y entregar el agua a la población local.

4. **Sustentabilidad Técnica:** Mientras puede existir una variedad de soluciones, éstas necesitan ser revisadas con cuidado para asegurar que son financieramente posibles y satisfacen las necesidades de la población local, tomando en cuenta que cualquier solución por lo general incluye la adaptación conductual y, por lo tanto, debe ser culturalmente aceptable.

Las principales amenazas para el ecosistema de agua dulce son las siguientes:

- Disposición impropia de desechos domésticos sólidos y líquidos.
- Sobreexplotación de especies.
- Prácticas agrícolas insostenibles, como el uso de herbicidas y pesticidas.
- Invasión salina.
- Deforestación.
- Introducción de especies invasivas extrañas.
- Uso extenso de agua dulce para propósitos domésticos y comerciales.

3. Servicios de suministro de agua en áreas urbanas

Estadísticas recientes indican que 98% de los residentes granadinos tienen acceso a fuentes mejoradas de agua y 97% tienen acceso a servicios sanitarios mejorados (OMS y UNICEF, 2014). El Banco Mundial analiza mejor esta información en su base de datos de indicadores mundiales de desarrollo por Internet, donde establece que 99 y 97,5% de los residentes urbanos, a partir de 2012, tienen acceso a fuentes mejoradas de agua y servicios sanitarios

mejorados, respectivamente (Banco Mundial, 2014a). A pesar de estas cifras, muchos residentes urbanos experimentan problemas sustanciales debido a las irregularidades con los servicios hidráulicos como servicio intermitente, mala calidad del agua y presión del agua mal regulada. La flexibilidad de los residentes ante estos retos del suministro de agua es variable, y depende en gran manera de la riqueza y el empoderamiento.

3.1 Caracterización del servicio hidráulico

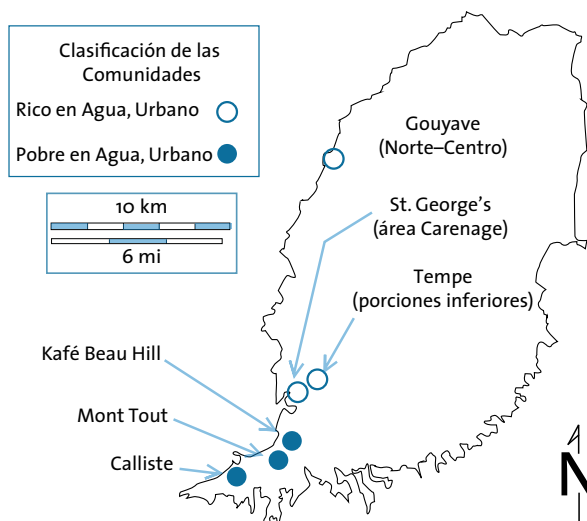
No se han publicado datos que cuantifiquen la proporción de los residentes que experimentan problemas de suministro de agua en Grenada. Aunque existen muchas publicaciones que describen los diversos aspectos de la *administración* del agua en Grenada, la información que describe el *servicio* hidráulico es poco común. Sin embargo, una encuesta reciente acerca de la administración del agua en Grenada realizada por Neff (2013) ofrece un panorama detallado del rango de las experiencias de los residentes con el servicio del agua en áreas urbanas y rurales. Este estudio utilizó encuestas de residentes en seis barrios urbanos: tres se clasificaron como que tienen un “buen” servicio de agua y tres como que tienen un “mal” servicio de agua (Tabla 3 y Figura 7).

Los hallazgos clave de la encuesta Neff de 2013 de los residentes que viven en estas seis comunidades se indican a continuación:

- Los residentes reportaron tener varios problemas relacionados con el agua tales como interrupciones en su servicio, episodios de “agua sucia” y otros problemas del servicio percibidos por los residentes. Los datos mostraron que hasta los residentes en los barrios “ricos en agua” experimentaron problemas con este servicio, lo que sugiere que es probable que un cierto nivel de problemas de ese rubro abarque varias zonas.

Tabla 3. Descripción de la clasificación de las comunidades y comunidades encuestadas

Clasificación	Descripción	Comunidad Encuestada
Rico en Agua	Comunidades urbanas con un suministro de agua estable y de alta calidad	Saint George (área Carenage)
		Tempe (porciones inferiores)
		Gouyave (Norte–Centro)
Pobre en Agua	Comunidades urbanas con racionamiento de agua y/o problemas frecuentes con la calidad del agua	Calliste
		Kafé Beau Hill
		Mont Tout

Figura 7. Mapa que muestra la ubicación de las comunidades encuestadas

Fuente: Mapa base de Grenada proporcionado por d-maps.com, http://d-maps.com/carte.php?num_car=1707&lang=en

- Los cortes en el servicio de agua por lo general duraban poco (menos de un día completo) e iban de ocasionales a crónicos (Figura 8). La mayoría de los cortes ocurrieron como resultado del racionamiento o falta de agua cuando la demanda de ésta excede la oferta. Sin embargo, en condiciones de sequía, se reportaron cortes de agua que duraban semanas a meses, y que requerían que la NAWASA distribuyera agua por medio de pipas.
- Muchos de los residentes informaron haber experimentado episodios de recibir “agua sucia” en las llaves de sus casas. La severidad del agua sucia iba desde una coloración ligera hasta lo que los residentes describieron “como lodo” (Figura 9). Como marco de referencia, la Figura 10 muestra un frasco de agua que podría clasificarse como “severa”, pero todavía no “como lodo”. El agua sucia a menudo ocurre después de rompimientos en las tuberías de distribución o precipitaciones intensas. En el segundo caso, el escurrimiento rápido acarrea agua llena de sedimento hasta las tomas de las plantas de tratamiento de agua.
- Un tercio (33%) de los encuestados identificó uno o más problemas adicionales con su suministro de agua en los lugares ricos de agua y pobres de agua (Figura 11). Los problemas más comunes reportados por los residentes aparte de la interrupción en el servicio del agua y el agua sucia fueron el olor y/o sabor excesivo a cloro, presión baja y alta en la llave y preocupaciones por la salud.
- Preocupaciones por la salud relacionadas con el agua potable fueron expresadas por 12% de los residentes urbanos encuestados. Las preocupaciones abarcaban factores como la contaminación microbiana, la reacción adversa gastrointestinal percibida hasta agua “pesada” de pozo o cloro excesivo, y sospechas generales en cuanto a la seguridad del agua.
- Los participantes en la encuesta que explicaron sus preocupaciones con respecto a la presión del agua, describieron episodios de baja presión durante el día que interfería con el uso del agua, y de alta presión durante la noche que a menudo rompía las instalaciones domésticas de agua.
- A pesar de las deficiencias en el servicio de agua, los residentes en general se mostraron satisfechos con el proveedor del servicio de agua NAWASA con una mayoría que percibió la situación del suministro de agua como estable o que iba mejorando. Cabe destacar que 63% de los residentes encuestados en las comunidades urbanas con mal servicio de agua reportaron que las interrupciones en el suministro de agua iban disminuyendo con el tiempo.

Figura 8. Días de interrupción de suministro de agua por año reportados por residentes.

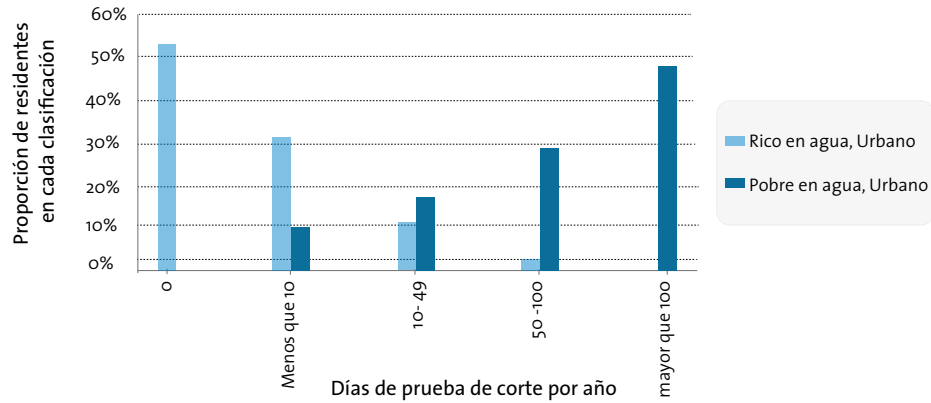


Figura 9. Descripciones de los residentes en cuanto a la severidad potencial de agua sucia recibida a través de sus llaves de agua.

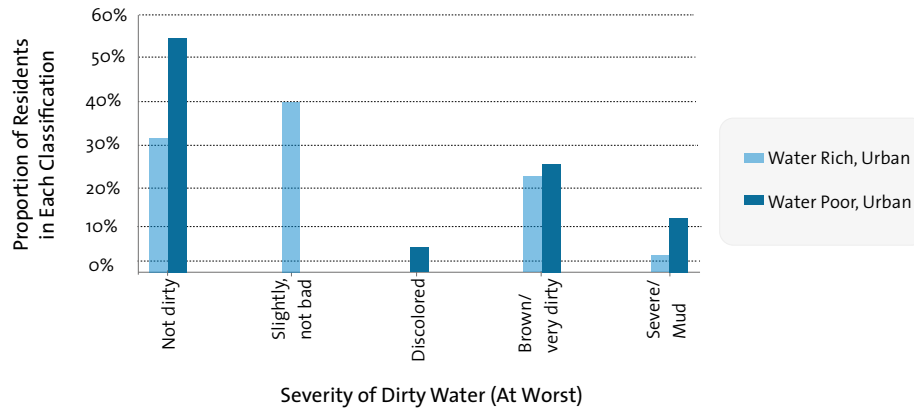
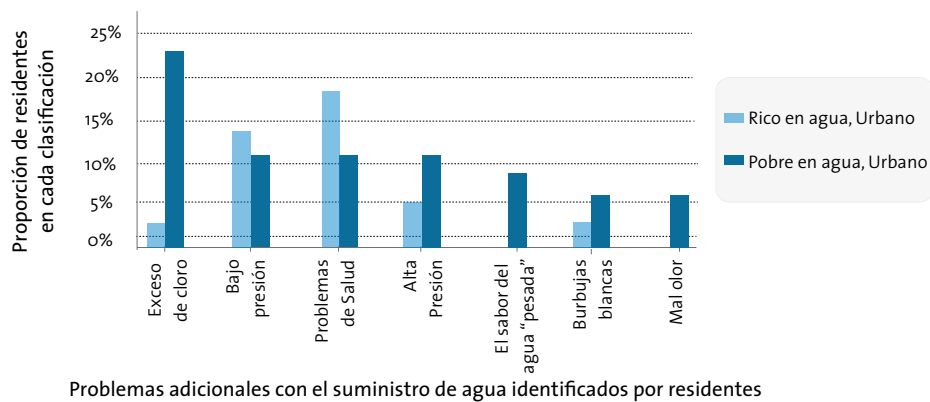


Figura 11. Otros problemas de servicio de agua reportados por los residentes.



3.2 Pobreza y resistencia a las irregularidades en el servicio de agua

Existen opciones para que los granadinos reduzcan o eliminen el impacto de los problemas del servicio

del agua en sus vidas cotidianas. Por ejemplo, los residentes pueden almacenar agua para usarla durante las interrupciones en el suministro. Asimismo, se pueden instalar filtros para sedimento para reducir o eliminar el agua sucia, y también se pueden instalar

válvulas de limitación de presión y bombas de agua para eliminar los problemas causados por la presión de agua mal regulada. No obstante, el acceso de los residentes a las medidas de adaptación es variable y depende en gran medida de la cantidad de recursos financieros disponibles y el empoderamiento.

Figura 10. Comparación de agua entubada “normal” (izquierda) con el “agua sucia” (derecha) recolectada por Neff de una llave en su residencia en Grand Anse, Grenada. La muestra de la derecha califica como “severa”.



Fotografía de Brian Neff, 2014.

En el caso del almacenamiento de agua para uso durante las interrupciones del servicio, diferentes enfoques pueden adoptarse con diversos grados de eficacia. Los sistemas simples de almacenamiento de agua captan y almacenan el agua de lluvia usando cubetas y barriles para lluvia y no cuentan con tuberías hacia el interior de las viviendas (Figura 12a). Los sistemas más elaborados almacenan el agua entubada usando tanques de almacenamiento de polietileno negro de 500 galones (1 mil 890 l) o más, y son conducidos por tubería para suministrar agua a la vivienda por medio de gravedad cuando se interrumpe el suministro (Figura 12b). En algunos casos, grandes cisternas –que en general contienen más de 10 mil galones (37 mil 850 l)– se ubican debajo de la vivienda y pueden contener agua de lluvia o agua entubada y se conducen por tubería para abastecer la vivienda durante las interrupciones del servicio de agua usando una bomba a presión. Con un tanque suficientemente grande y presurización, los residentes de la vivienda pueden incluso no darse cuenta que ocurren interrupciones en el suministro de agua.

Los datos reportados por Neff (2013) respaldan la afirmación de que la capacidad de los residentes para adaptarse a los problemas de suministro de agua está muy influenciada por la riqueza y el empoderamiento. Mientras la frecuencia de las interrupciones en el suministro de agua es el factor principal para

Figura 12. a) Izquierda: Ejemplo de un tanque elevado de almacenamiento de polietileno negro con capacidad de 500 galones (1,890 l) con tubería hacia el interior de la vivienda. b) Derecha: Ejemplo de un barril de lluvia sin tubería hacia el interior de la vivienda.



determinar si un hogar cuenta con un tanque para almacenar agua de cualquier tipo, el *tipo de tanque / sistema* (por ejemplo, con o sin tubería) instalado está relacionado con el nivel de riqueza del hogar (Figura 13). Esto sugiere que los residentes que necesitan almacenar agua para usarla durante las interrupciones del suministro lo hacen, pero los residentes relativamente ricos poseen grandes tanques con tubería hacia el interior de la vivienda, mientras que los residentes relativamente pobres confían en simples barriles de lluvia a los que tienen acceso desde el exterior de la vivienda.

La falta de recursos financieros de varios residentes granadinos también es un problema en el país. Mientras que se requiere a la NAWASA que sea autosuficiente y que financie la mayoría de sus operaciones por medio de las tarifas cobradas a los usuarios, tratan de ser flexibles con los residentes que notifican que son incapaces de pagar su cuenta de agua debido a situaciones financieras difíciles y se esfuerzan por evitar las desconexiones. Desafortunadamente, muchos residentes no aprovechan esta flexibilidad y como resultado de ello se les desconecta el servicio. Casi 9% de los encuestados por el estudio de Neff en áreas urbanas reportaron que se les desconectó el servicio en el pasado o estar en riesgo de que se les desconecte debido al retraso en el pago de sus facturas.

3.3 Retos y soluciones del servicio de agua

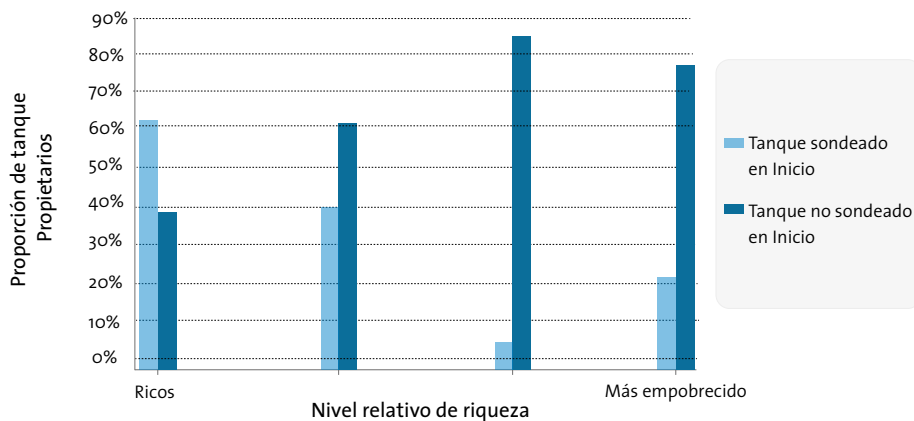
En esencia, Grenada tiene abundancia de recursos de agua dulce. De hecho, existe un bosque tropical a

una elevación relativamente alta dentro de un radio de 10 kilómetros de cada vivienda. La urbanización en sí no presenta ningún reto significativo para el servicio de agua granadino. No obstante, la administración de estos recursos en Grenada presenta varios retos y, como resultado de ello, continúan existiendo los problemas en el suministro de agua.

Por lo general, el agua es suministrada a los residentes a través de un sistema de desviación de agua desde su origen en los ríos de alta elevación hasta las plantas de tratamiento y después se distribuye el agua tratada a los residentes en las zonas más bajas. Una ventaja obvia de este sistema es que utiliza la gravedad para distribuir el agua y reduce en gran medida la necesidad del costoso bombeo. Sin embargo, la cantidad de agua que puede ser extraída de los ríos es vulnerable a la disminución por las estaciones climáticas en el flujo de los ríos durante la temporada seca y las sequías. Además, el terreno rugoso también reduce las oportunidades de lograr una desviación o distribución fácil del agua desde una cuenca a otra. Las dificultades para desviar el agua alrededor de la isla hacen que las áreas con alta densidad de población, y por ende con alta demanda de agua, sean vulnerables a la escasez del vital líquido.

Otro problema adicional es que el agua cargada con sedimento con frecuencia es arrastrada hacia los torrentes y tomas de agua después de que ocurren lluvias importantes. La mayoría de las plantas de tratamiento de agua carecen de la capacidad para permitir que las cargas pesadas de sedimento se separen del agua en tratamiento. En estos casos, los operadores de las plantas han tenido que elegir entre

Figura 13. Relación entre la pobreza y la instalación de tanque de agua utilizada



cerrar la planta de tratamiento hasta que el agua se aclare, lo que causa interrupción del suministro para los residentes, o abastecer agua cargada de sedimento al sistema de distribución.

El terreno montañoso de Grenada y las deficiencias en el sistema de distribución de agua se combinan para provocar dificultades en la conservación de una presión consistente del agua. Los picos altos en la presión del agua pueden romper las instalaciones de las viviendas y causar rompimientos frecuentes en el sistema de distribución. Esto puede exacerbar los problemas de la calidad y cantidad de agua.

Existen soluciones técnicas para todos estos problemas, aunque hay obstáculos en su instrumentación. Expandir la capacidad de almacenamiento de agua cruda para alimentar las plantas de tratamiento durante los eventos de precipitación podría evitar que el agua sucia entrara al sistema de tratamiento y distribución. Si el almacenamiento se expande lo suficiente, el agua podría almacenarse durante la estación húmeda para alimentar a las plantas de tratamiento de agua durante la estación seca. El terreno rugoso evita la distribución fácil del agua desde cualquier ubicación central hacia otros lugares de la isla, pero podría explorarse la posibilidad de construir muchas presas de tamaño moderado o grandes tanques de almacenamiento.

Existen otras opciones técnicas para evitar la escasez de agua. La autoridad del agua (NAWASA) podría utilizar riachuelos adicionales o establecer tomas y plantas de tratamiento más corriente debajo de donde se encuentran actualmente para expandir el suministro del agua de origen. Expandir el uso de agua subterránea podría proporcionar agua de origen adicional durante la escasez en el suministro, y el plan de 5 años de la NAWASA (2009) incluye planes para estudiar la posibilidad de esta opción.

Reducir la demanda de agua y mejorar la resistencia de los habitantes a los problemas del suministro de agua son también opciones para mejorar la situación actual. Un enfoque técnico para reducir la demanda de agua es aminorar las fugas en el sistema actual de distribución, siendo éste el principal objetivo del Proyecto de Suministro de Agua para el Sur de Grenada. También se pueden elaborar e instrumentar políticas para promover la eficiencia en el uso del agua o persuadir a los residentes para que capten y usen el agua de lluvia (Cuadro 1). Otras políticas podrían facilitar que los residentes adoptaran

mejores estrategias de adaptación a los problemas en el suministro del agua.

3.4 Gestión pública del agua y esfuerzos de reforma

En 2008, se ratificó una política nacional formal del agua para Grenada. Sin embargo, la legislación general necesaria para reemplazar las 14 leyes existentes que rigen los recursos hidráulicos en Grenada y su administración todavía debe promulgarse e implementarse. Este arreglo ha provocado un enfoque mal coordinado para la administración del agua y, en general, una estructura burocrática de orden descendente que otorga a diferentes dependencias mandatos relativamente estrechos.

Aparte de la falta de coordinación en la estructura de gestión pública actual, un problema más serio es la ausencia de una visión estratégica general a largo plazo (varias décadas) para el futuro del agua en Grenada. No se requiere la planeación a largo plazo, durante varias décadas, de las leyes granadinas para la administración del agua y, como asunto práctico, no ocurre en ningún punto de la estructura de la gestión pública del agua. Esta situación es una realidad aun dentro de los “silos” individuales de la administración del agua.

En 2007, la Unión Europea (UE) ofreció a Grenada una ayuda de USD\$ 7.4 millones de dólares para auspiciar un proyecto muy necesario de infraestructura hidráulica con la condición de que el Gobierno formulara y promulgara una nueva política del agua. El Gobierno de Grenada aceptó y la elaboró con rapidez. Se tuvo un breve período de consultas y los asesores prepararon los documentos clave que buscaban identificar las deficiencias en la administración actual de los recursos hidráulicos, definían una política sensata del agua para la administración futura integral de los recursos hidráulicos y diseñaban una vía para implementar la nueva política (Gobierno de Grenada, 2007a, 2007b y 2007c). A principios de 2008, la legislatura de Grenada aprobó la política del agua de 2007 y la UE liberó los fondos para el proyecto de la infraestructura hidráulica.

Una cosa es elaborar el borrador y aprobar un documento idealista y visionario que describe la buena gestión pública del agua con un ultimátum de USD\$ 7.4 millones de dólares en la balanza, y otra muy diferente elaborar la propuesta y promulgar la legisla-

Captación del agua de lluvia como una solución urbana de agua en Grenada

El potencial de implementar y utilizar mejor los sistemas de captación de agua de lluvia (RWH, por sus siglas en inglés) en Grenada es significativo

- Grenada tiene suficiente precipitación para comprobar si los sistemas de RWH son económicos y eficaces.
- Aún la RWH a pequeña escala puede mejorar sustancialmente la resistencia a la escasez de agua.
- La RWH reduce la demanda de agua transportada por tuberías y podría utilizarse para llenar la brecha entre el suministro de agua de la estación seca y la demanda en las áreas urbanas.
- Los sistemas residenciales de RWH podrían ser más rentables para reducir la escasez de agua que las mejoras en la infraestructura.

En la actualidad, la estructura de la administración granadina del agua está fragmentada con diversos silos de responsabilidad y una falta de un enfoque de administración general y holística (consultar la sección intitulada “Gestión Pública del Agua y Esfuerzos de Reforma”). Ninguna entidad tiene la responsabilidad legal para considerar herramientas como la RWH como parte de una estrategia holística de administración del agua. En particular, la autoridad del agua NAWASA está encargada de suministrar agua, no de reducir su demanda.

Recientemente, la RWH ha recibido un interés renovado de las ONG y los académicos como un medio impulsado por los residentes para aumentar o reemplazar el agua suministrada por el municipio (por ejemplo, CEHI, 2006; Peters, 2006; Neff, Rodrigo y Akpinar-Elci, 2012). Cabe destacar que el Instituto de Salud Ambiental del Caribe (CEHI, por sus siglas en inglés) elaboró y promovió el Programa Nacional para la Captación de Agua de Lluvia (CEHI, 2006). Sin embargo, hasta la fecha ningún aspecto de este plan ha sido adoptado por la autoridad hidráulica (NAWASA, 2009). Lo que es peor: este programa promovía un modelo relativamente costoso de “mejores prácticas” de RWH y era ineficiente para persuadir a los residentes a considerar instalar sistemas de RWH en sus hogares.

Al observar este contratiempo, Neff, Rodrigo y Akpinar-Elci (2012) intentaron delinear una función potencial para la RWH. Estos investigadores concluyeron que existe el potencial para expandir el uso de las formas básicas de la RWH (por ejemplo, barriles para agua de lluvia), pero el modelo de mejores prácticas es difícil de promover por varias razones, una conclusión que es consistente con el punto de vista de los criterios especificados por el Programa del Medio Ambiente de las Naciones Unidas (1999) para promover las RWH y las pláticas entre el autor principal y las personas en la autoridad local del agua (Al Neptune, comunicación personal, 2011).

Finalmente, el uso de los sistemas de RWH todavía sigue siendo un potencial no realizado y un símbolo de la limitación del sistema fragmentado e incompleto de administración del agua de Grenada.



ción que sustituya los 14 estatutos existentes y proporcionar unos planos definitivos para implementar tal gestión. A la fecha todavía no se ha instrumentado la legislación requerida para llevar a cabo la política del agua de 2007.

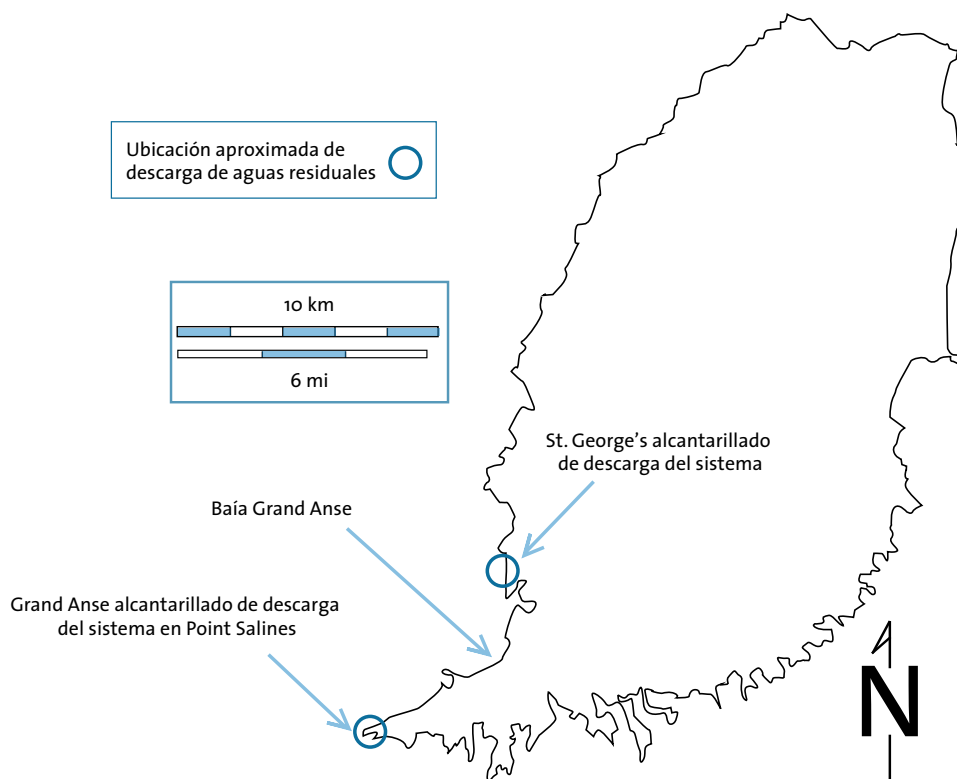
De las 14 leyes actuales que rigen los recursos hidráulicos en Grenada y su administración, la más amplia es la Ley de la Autoridad Nacional de Agua y Alcantarillado de 1990 (*National Water and Sewerage Authority Act 1990*) que otorga el derecho del uso de todo cuerpo de agua a la Autoridad Nacional de Agua y Alcantarillado (*National Water and Sewerage Authority, NAWASA*). Además, esta Ley especifica que una de las funciones de la NAWASA es proporcionar al público un suministro satisfactorio de agua potable con fines domésticos y proporcionar un suministro de agua potable o satisfactoria para fines agrícolas, industriales y comerciales.

Aunque se otorgó a la NAWASA la autoridad legal para administrar todos los recursos hidráulicos

dentro del territorio de Grenada, no hay ninguna dependencia gubernamental única que supervise o sea responsable de la formulación de reglamentos y políticas del agua. El Ministerio de Salud, Seguridad Social y el Medio Ambiente es responsable de la administración de los desechos, el control / la administración de los desechos peligrosos, y de la formulación de directrices, reglamentos, leyes y otras políticas en relación con el medio ambiente. No obstante, el Ministerio de Agricultura, Tierras, Bosques, Pesca, Servicios Públicos y Energía tiene la responsabilidad de supervisar a la NAWASA.

Por último, tanto la provisión del servicio de agua como la reglamentación de la provisión de tal servicio se asignan a la misma entidad, es decir, la NAWASA. En efecto, en ausencia de un organismo independiente que supervise la función de la provisión del servicio de agua de la NAWASA, en esencia, la NAWASA se autorregula.

Figura 14. Sistemas de alcantarillado instalados en Grenada



Fuente: Mapa base de Grenada proporcionado por d-maps.com, http://d-maps.com/carte.php?num_car=1707&lang=en

4. Tratamiento de aguas residuales en áreas urbanas

En la actualidad, 96% de la población urbana y 97% de la población rural tiene acceso a mejores servicios sanitarios. Los tanques sépticos individuales y las letrinas excavadas abarcan la mayoría del alcantarillado con solo 5% de la población total conectada a uno de los dos únicos sistemas de alcantarillado ubicados en la isla de Grenada.

Los dos sistemas existentes de alcantarillado se localizan en el sur de la isla de Grenada (Figura 14). El sistema de Saint George tiene más de 75 años y atiende principalmente a la capital: Saint George. El otro sistema de alcantarillado, el Sistema Grand Anse, fue inaugurado en 1992 y atiende principalmente a hoteles y áreas residenciales ubicadas en la punta sudoeste de la isla de Grenada. Ambos sistemas únicamente son sistemas de tratamiento primario que solo eliminan los artículos grandes del alcantarillado y el resto se llevan a dos puntos de desembocadura en la costa occidental.

5. Efecto del cambio climático en los usuarios urbanos de agua

Predecir los efectos hidrológicos del cambio climático es muy diferente a predecir el efecto del cambio climático en los usuarios urbanos de agua. Ambas son cuestiones muy importantes que se deben abordar, pero la segunda se presume que es de mayor valor para guiar la administración de la adaptación al cambio climático. Los efectos potenciales del cambio climático en los usuarios urbanos de agua granadinos serán impactados principalmente por tres factores: (1) los probables efectos hidrológicos del cambio climático; (2) la vulnerabilidad del sistema actual de suministro de agua para esos efectos; y (3) la eficacia del sistema actual de administración del agua para adaptarse a estas condiciones cambiantes.

5.1 Efectos hidrológicos del cambio climático

Es probable que el cambio climático distorsione los patrones históricos de la temperatura y las precipitaciones pluviales con los resultantes efectos en cas-

cada en todo el ciclo del agua. El siguiente análisis se divide en cambios *observados* y *proyectados* en el clima según afectan a la administración del agua.

5.1.1 Tendencias observadas

Desde 1960, la temperatura promedio del aire en Grenada ha aumentado alrededor de 0.6 °C (McSweeney, New y Lizcano, 2010). En análisis de las tendencias climáticas a lo largo del Caribe, tanto Peterson (2002) como Stephenson y col. (2014) encontraron un aumento en la frecuencia de temperaturas muy cálidas diarias máximas y mínimas durante el mismo período. El grupo de investigación de Stephenson también descubrió una disminución correspondiente en días y noches frescos. Estas observaciones son consistentes con los datos que describen un incremento en las temperaturas globales (IPCC, 2007).

Desde 1960, la precipitación promedio anual ha aumentado ligeramente en Grenada, aunque el cambio no es estadísticamente significativo (McSweeney, New y Lizcano, 2010). En análisis de las tendencias climáticas a lo largo del Caribe, Peterson reportó un incremento en la intensidad de las precipitaciones y una disminución en los días secos consecutivos, lo que indica una lluvia más frecuente durante la estación seca. Sin embargo, un análisis revisado realizado por Stephenson y col. (2014) descubrió que la tendencia en días secos consecutivos se había revertido desde finales de la década de 1990. Además, estos investigadores observaron que no había ninguna tendencia en la precipitación total en los pasados 50 años y confirmaron la tendencia hacia una mayor intensidad de precipitación observada en el estudio de Peterson (2002).

El Niño Oscilación Sureña (El Niño Southern Oscillation, ENSO) es un importante comodín en el análisis de los efectos del cambio climático sobre el suministro de agua. Los factores climáticos que crean las condiciones de sequía en el Caribe son complejos y entendidos a medias, pero el ENSO parece ser el factor más grande (Giannini, Kushnir y Cane, 2000; Stephenson, Chen y Taylor, 2008). Tanto la frecuencia como la intensidad del ENSO han aumentado desde por lo menos los años 1500 y la tendencia parece estar acelerando (Gergis y Fowler, 2009), aunque esto no ha sido atribuido al cambio climático.

5.1.2 Cambios proyectados

Se proyecta que la temperatura del aire en Grenada continuará aumentando durante el siguiente siglo. El grado exacto de calentamiento varía dependiendo de qué modelo y escenario climático se utilicen. Por ejemplo, el Cuarto Reporte IPCC predice que el Caribe se calentará de 1.4 a 3.2°C antes del año 2100, con una media de 2.0°C (Christensen y col., 2007). El Perfil de Cambio Climático de UNDP para Grenada proyecta un calentamiento de 0.7 a 2.6°C antes de la década de 2060 y 1.1 a 4.3°C antes de la década de 2090 (McSweeney, New y Lizcano, 2010). El punto es que existe un amplio consenso para documentar el calentamiento sustancial en Grenada en las siguientes décadas, muy probablemente en alrededor de 2°C antes del año 2100.

La significancia de las temperaturas del calentamiento del aire para el suministro de agua es que se puede esperar que la evapotranspiración aumente de manera concomitante. Conforme aumente la evapotranspiración, menos del agua que cae como precipitación llega a los torrentes utilizados como agua fuente. De particular interés es que se reduce la recarga de agua subterránea, causando una reducción en la descarga de agua subterránea a los torrentes (flujo basal).

El cambio en la precipitación total durante el siguiente siglo es muy incierta tanto en los modelos climáticos globales como regionales (Karmalkar y col., 2013). En general, los estudios recientes tienden hacia una ligera reducción en la precipitación anual para el año 2100. El Cuarto Reporte de Evaluación del IPCC (2007: 912) indica que "... la mayoría de los modelos proyectan disminuciones en la precipitación anual y unos cuantos aumentos que varían de -39 a +11%, con una media de -12% [para el año 2100]". McSweeney, New, and Lizcano (2010) reportan rangos anuales de desviación de precipitación entre 61 y +23% para la década de 2090, con una media de 13 a 21%.

Los cambios en la estacionalidad e intensidad de la precipitación son críticos para el suministro de agua. Grenada no tiene la capacidad de almacenar el flujo de los torrentes de la estación húmeda de manera que pueda utilizarse en la estación seca. El flujo anual total de los torrentes es mucho menos importante que el flujo diario de los torrentes, en particular

durante las condiciones de estación seca. El suministro de agua en Grenada puede quedar sin afectación alguna si la reducción de la precipitación se limita a la estación húmeda, como algunos autores han sugerido (Gobierno de Grenada, 2011). Además, McSweeney, New y Lizcano (2010) proyectan que los eventos de precipitación serán menos intensos para antes del año 2100. Esto debe mejorar la infiltración de la precipitación, que tiende a reducir las inundaciones y a aumentar el flujo basal en los torrentes, mejorando de manera potencial el suministro de agua durante las estaciones secas y las sequías. Reducir la intensidad de los eventos de precipitación debe también reducir la erosión y la sedimentación de los torrentes, reduciendo de manera potencial los episodios de agua sucia en el suministro de agua potable. Grenada no tiene datos del flujo de los torrentes que pudieran utilizarse para confirmar estas propuestas. Otros factores, como los cambios en el uso de la tierra en los depósitos de captación para suministro de agua, también afectarán la relación entre la precipitación, el flujo de los torrentes, la sedimentación y el flujo basal de la estación seca.

Como se analiza en la sección 5.1.1, el ENSO parece ser el factor más grande que impulsa la sequía severa en el sur del Caribe. Desafortunadamente, los científicos expertos en el clima ofrecen poco en cuanto a las proyecciones para sí y cómo el ENSO cambiará en los siguientes 100 años. Dada la aceleración a largo plazo de la frecuencia del ENSO observada por Gergis y Fowler (2009), podría ser prudente anticipar un aumento potencial en las sequías severas, sin importar si sí o si no la frecuencia del ENSO es afectada por el cambio climático.

5.2 La administración del agua y el cambio climático

El efecto del cambio climático en el suministro de agua no es necesariamente una cuestión de hidrología; más bien la cuestión real es si y cómo la administración del agua responde a los futuros retos del agua. Grenada está bendecida con grandes recursos de agua dulce y el suministro de agua es fundamentalmente más sensible a las decisiones de adminis-

tración de agua que a los cambios predichos en los recursos hidráulicos. Ya existen las opciones para expandir el suministro de agua o reducir la demanda de agua a través de mejorar la eficiencia del uso de la misma o aumentar la captación residencial de agua de lluvia (Cuadro 1; Instituto de Salud Ambiental del Caribe, 2006; Neff, Rodrigo y Akpınar-Elci, 2012). La cuestión real es si los administradores del agua utilizan estas opciones para mantener y mejorar el suministro de agua durante las décadas venideras.

Una opción para expandir el suministro de agua a las mayores áreas urbanas en Grenada es desviar y tratar el agua proveniente del Río Concord y transferirla 6 km al sur de la ciudad capital de Saint George a través del sistema existente de distribución de agua. El Río Concord es un torrente relativamente grande en Grenada y en su mayoría no se usa para el suministro de agua. Hay evidencia de que los problemas crónicos con el suministro de agua durante la estación seca en el sudoeste de la isla podrían corregirse con facilidad si esta fuente de agua fuera des-

viada e introducida al torrente. Los ingenieros de la NAWASA creen que este proyecto podría aumentar el suministro a la parte sudoeste de Grenada en 0.8-1.0 millones de galones por día (mgd), un aumento del ~40% sobre la capacidad actual de 2.25 mgd para abastecer esta área.

Finalmente, Grenada posee excelentes opciones para enfrentar los efectos del cambio climático en el suministro de agua. Grenada tiene un exceso de recursos hidráulicos y ya existen las opciones administrativas para expandir en gran manera el suministro de agua. Además, es posible que el mejoramiento del sistema actual de gestión pública del agua pudiera arrojar luz sobre nuevas soluciones que sean menos difíciles y costosas de implementar. El grado al que Grenada implemente estas opciones depende en mucho del liderazgo y la voluntad políticos. Si estas dos cualidades pueden ser encontradas y alimentadas, se mejorará mucho la resistencia de Grenada a enfrentar cualquier reto de administración del agua representado por el cambio climático.

6. Conclusiones

Como es el caso de muchos países en desarrollo, el continuo crecimiento y expansión de las ciudades y otras zonas urbanas de Grenada hará más evidente la necesidad de mejorar y aumentar de forma considerable la infraestructura necesaria para poder abastecer agua de calidad y en cantidad suficiente a estos crecientes asentamientos. Aunque Grenada tiene la fortuna de contar con suficientes recursos de agua dulce, se debe prestar atención al desafío que representa explotar estos recursos, ya que se encuentran ubicados en zonas montañosas de la isla, y poder llevarlos a las áreas de consumo clave.

Además, aparte de mejorar las infraestructuras de captación de agua y suministro, también es necesario realizar una inspección general así como una modernización de las estructuras de gestión de recursos hídricos existentes en Grenada. En concreto, existe una necesidad urgente de reformar y recopilar información de la actual variedad de organismos legales que actualmente llevan a cabo una parte de esta función dentro de un marco jurídico integral. Es poco probable que el financiamiento que se requiere para mejorar y reemplazar las deterioradas infraestructuras de suministro y almacenamiento de agua se pueda obtener bajo el actual marco legislativo y de gestión de agua.

Por último, con objeto de mejorar el abastecimiento de la red de agua potable, sobre todo durante los meses de estiaje, deben diseñarse políticas y programas que motiven a la gente, en particular a quienes viven en las áreas urbanas, a instalar sistemas de captación de aguas pluviales (RWH, por sus siglas en inglés). Los sistemas de captación de aguas pluviales son una forma relativamente barata de

mejorar de forma importante la capacidad total de almacenamiento de la red municipal. Más aún, los sistemas de captación de aguas pluviales residenciales podrían contribuir a reducir la demanda de agua de la red municipal, especialmente durante los meses de estiaje.

7. Recomendaciones

Con base en la experiencia de Grenada en su intento por suministrar agua en cantidad y calidad suficiente a una creciente población urbana, se presentan las siguientes recomendaciones:

1. Para lograr una gestión adecuada y eficaz de los recursos hídricos, es necesario promover y aprobar leyes globales en materia de gestión integral de agua.
2. El abastecimiento del agua y la regulación de un servicio de este tipo no debe recaer en un sólo organismo. Este debe instituirse para actuar independientemente de aquel con objeto de garantizar una adecuada supervisión así como un control eficaz de la calidad del agua que se suministrará a la población.
3. Es necesario poner en práctica políticas y programas que contribuyan a motivar a la gente a aprovechar mejor el beneficio que ofrecen los sistemas de recolección de aguas pluviales (RWH) logrando en primera instancia, reducir la demanda de agua corriente, y en segunda, ofreciendo un mayor abastecimiento de agua a la población local, especialmente durante los períodos de escasez.

8. Agradecimientos

Nos gustaría dar las gracias y reconocer la ayuda de las siguientes personas que ayudaron en el suministro de gran parte de la información y los datos que se reporta en este capítulo: Christopher Husbands, Gerente General de NASWASA; Terrence Smith, Director General, TP Smith Engineering Inc; Trevor Thompson, Land, Ministerio de Agricultura ; y Al Neptune, Ingeniero en Operaciones, NAWASA.

9. Referencias

- Betty E. Smith, 2010, Population and urbanization in Latin American and the Caribbean, *Geographische Rundschau International Edition*, Vol. 6, No.3, 2010.
- Brown, C., K. M. Baroang, E. Conrad, B. Lyon, D. Watkins, F. Fiondella, Y. Kaheil, A. Robertson, J. Rodriguez, M. Sheremata, and M. N. Ward, 2010: Managing Climate Risk in Water Supply Systems IRI Technical Report 10-15, International Research Institute for Climate and Society, Palisades, NY, 133 pp. [Available online at <http://iri.columbia.edu/publications/id=1048>]
- Caribbean Environmental Health Institute. 2006. National Rainwater Harvesting Programme for Grenada. Ministry of Health, Social Security, Environment and Ecclesiastical Affairs, Grenada.
- Cashman, Adrian C. 2013. Water Security and Services in the Caribbean. Washington D.C., USA: Inter-American Development Bank.
- CEHI, 2006a. Water Availability Analysis for Grenada: Map Compendium. The Morne, Castries, St. Lucia: Caribbean Environmental Health Institute.
- Christensen, J.H. , B. Hewitson, A. Busuioc, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, *et al.* 2007. Regional Climate Projections. In: *Climate Change 2007 - The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.: Cambridge University Press.
- Gergis, Joëlle L., and Anthony M. Fowler. 2009. A History of ENSO Events Since AD 1525: Implications for Future Climate Change. *Climatic Change* 92 (3):343-387.
- Giannini, Alessandra, Yochanan Kushnir, and Mark A. Cane. 2000. Interannual Variability of Caribbean Rainfall, ENSO, and the Atlantic Ocean. *Journal of Climate* 13 (2):297-311.
- Government of Grenada. 2007a. Framework for Water Policy Implementation. St. George's, Grenada: Government of Grenada.
- . 2007b. Grenada Water Sector Review. St. George's, Grenada: Government of Grenada.
- . 2007c. National Water Policy. St. George's, Grenada: Government of Grenada.
- . 2011. Grenada strategic program for climate resilience (SPCR).
- . 2013. Grenada Drug Epidemiology Network (GRENDEN) Annual Report, 2012. St. George's, Grenada.
- IPCC. 2007. *Climate change 2007: The physical science basis*. Edited by Dahe Qin Susan Solomon, and Martin Manning. Vol. 4. Cambridge, England and New York, USA: Cambridge University Press.
- Karmalkar, A.V., M.A. Taylor, J. Campbell, T.S. Stephenson, M. New, A. Centella, A. Benzanilla, *et al.* 2013. A review of observed and projected changes in climate for the islands in the Caribbean. *Atmósfera* 26 (2):283-309.
- Madramootoo, C. A., 2001, Hydrologic analysis of potential irrigation sites in Grenada, Technical report presented to Food and Agriculture Organization of the UN and Ministry of Agriculture, Lands, Forestry & Fisheries, Government of Grenada, Project TCP/GRN/0066
- McSweeney, C., M. New, and G. Lizcano. 2010. UNDP Climate Change Country Profiles: Grenada. Available at <http://country-profiles.geog.ox.ac.uk/> [Accessed 21 July 2014].

- NAWASA. 2009. NAWASA Strategic Plan: 2009 - 2014. St. George's, Grenada: Government of Grenada.
- Neff, Brian P. 2013. Traps and Transformations of Grenadian Water Management, Ph.D. Thesis, Department of Geography and Environmental Management, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, <http://hdl.handle.net/10012/8018>.
- Neff, Brian P., Shelly Rodrigo, and Muge Akpinar-Elci. 2012. Resident Perspectives on Rainwater Harvesting in Grenada. Paper presented at 2nd International Conference on Governance for Sustainable Development of Caribbean Small Island Developing States, University of the Netherlands Antilles, Curaçao, Dutch Caribbean, March 7-9, 2012. Available at <http://sidsgg.webs.com/conference-proceedings.htm>.
- Peterson, TC. 2002. Recent changes in climate extremes in the Caribbean region. *Journal of Geophysical Research* 107 (D21, 4601):4601.
- Roberts, D. 2013. Linkages Between Land Use, Agriculture, Forestry and Biodiversity Conservation: Implication for Attaining the Aichi Targets. Prepared as Part of the Preliminary Activities to Review and Update Grenada's National Biodiversity Strategy and Action Plan and Fifth National Report to the Convention on Biological Diversity.
- Stephenson, T.S., A.A. Chen, and M.A. Taylor. 2008. Toward the Development of Prediction Models for the Primary Caribbean Dry Season. *Theoretical and Applied Climatology* 92 (1):87-101.
- Stephenson, Tannecia S., Lucie A. Vincent, Theodore Allen, Cedric J. Van Meerbeeck, Natalie McLean, Thomas C. Peterson, Michael A. Taylor, *et al.* 2014. Changes in extreme temperature and precipitation in the Caribbean region, 1961-2010. *International Journal of Climatology*.
- World Bank. 2014. *Indicators | Data*. World Bank 2014a [accessed July 18]. Available from <http://data.worldbank.org/indicator>.
- . 2014b. *World Development Indicators* 2014. Washington, D.C., USA: World Bank.
- World Health Organization and UNICEF. 2014. *Progress on Sanitation and Drinking-Water - 2014 Update*. Geneva, Switzerland: WHO Press.

10. Acrónimos

ADD	Demanda Diaria Anual
ENSO	Oscilación del Sur El Niño
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
L	Litros
mdg	Millones de galones por día
NAWASA	Autoridad Nacional de Agua y Alcantarillado
NGO	Organizaciones no gubernamentales
RWH	Recolección de aguas pluviales
UFW	Agua no contabilizada
UN	Organización de las Naciones Unidas
UNICEF	Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia

Guatemala



Gente paseando en la plaza principal donde se observa la fuente monumental y la fachada del Palacio Nacional, Ciudad de Guatemala. Foto: ©iStock.com/mtcurado.



“En Guatemala el abordaje integral de las aguas urbanas es incipiente y, la información relacionada que permite diagnosticar los impactos causados por la urbanización, se ha concentrado en la ciudad capital y los municipios vecinos (área metropolitana).”

El Agua Urbana en Guatemala

Manuel Basterrechea,
Claudia Velásquez, Norma de Castillo,
Jeanette de Noack, Ana Beatriz Suárez,
Carlos Cobos y Juan Carlos Fuentes

Resumen

En Guatemala, el abordaje integral de las aguas urbanas es incipiente, y la información relacionada que permite diagnosticar los impactos causados por la urbanización se ha concentrado en la ciudad capital y los municipios vecinos (área metropolitana o AM).

El abastecimiento de agua para el AM y otras áreas urbanas presenta, entre otras cosas, dos grandes retos: la sobreexplotación de los acuíferos, con los consecuentes incrementos en los costos de bombeo, y el acceso a nuevas fuentes de agua que se encuentran fuera de su jurisdicción, lo cual crea conflictos. En el primer caso, la solución al problema depende fundamentalmente de ordenar el aprovechamiento de los acuíferos, a través de distintos instrumentos de gestión, cuya aplicación resulte del consenso entre las partes, así como favorecer la infiltración y reutilización del agua de lluvia de las áreas impermeabilizadas. En el segundo caso, será necesario considerar mecanismos de asignación y compensación. La urbanización ha generado contaminación de las fuentes de agua por la falta de tratamiento de las aguas residuales, y el aumento de las crecidas representa un riesgo a las vidas humanas.

1. Introducción

En Guatemala, el abordaje integral de las aguas urbanas es incipiente, y la información relacionada que permita diagnosticar los impactos causados por la urbanización se ha concentrado en la ciudad capital y los municipios vecinos (área

metropolitana –AM). La población del país es de 14 millones 61 mil 666 habitantes en una superficie de 108 mil km² y con una disponibilidad de agua anual de 97 mil 120 millones de m³, de los cuales 33 mil 699 millones de m³ son de agua subterránea renovable. En la Figura 1 se muestra el Mapa de Guatemala, donde se aprecia la división hidrográfica del país con una mayor descarga de aguas hacia el Océano Pacífico, seguida de las descargas al Golfo de México y, por último, las descargas al Océano Atlántico.

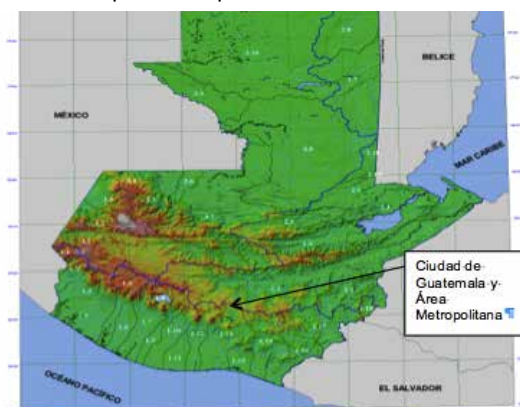
2. Fuentes de agua en zonas urbanas y los impactos causados por la urbanización

El país, por ubicarse en medio de dos océanos y atravesado por la Cordillera de Los Andes, presenta una orografía abrupta, ubicándose varias ciudades en el altiplano (parte alta de las cuencas), donde la principal fuente de agua es la subterránea. El resto de cabeceras municipales está ubicado en las partes medias y bajas, donde hay mayor disponibilidad de agua superficial, pero por estar éstas contaminadas por las descargas de aguas residuales sin tratamiento de las partes medias y altas, las aguas subterráneas son también fuente importante de abastecimiento de agua para la población.

La Ciudad de Guatemala y parte del resto del AM se encuentran en el parteaguas de la vertiente del Pacífico y del Atlántico, por lo que las fuentes superficiales son comparativamente escasas y, en consecuencia, se ha tenido que explotar las fuentes subterráneas. El crecimiento urbano de la Ciudad de Guatemala desde su creación en 1776, pero sobre todo de los otros municipios del AM en las últimas cuatro décadas, ha provocado la reducción de la infiltración de agua por la impermeabilización y la sobreexplotación de los acuíferos por la demanda creciente, así como la contaminación de las fuentes superficiales y subterráneas, por la descarga de aguas residuales sin tratamiento.

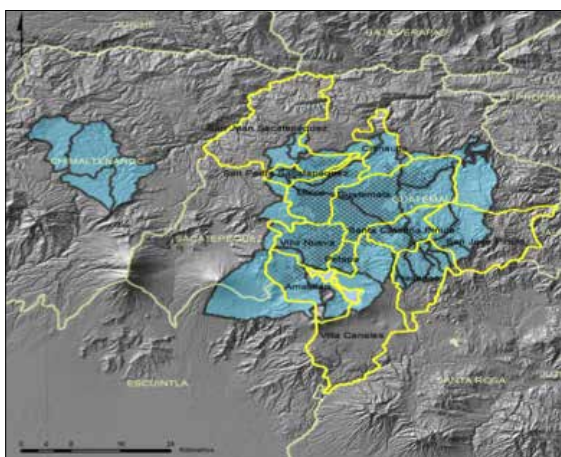
El AM está conformada por 12 municipalidades, desde San Lucas Sacatepéquez hasta Fraijanes, y desde Amatitlán hasta Palencia, abarcando 20 subcuencas y alrededor de 2 millones de habitantes (INE, 2002), con una tasa de crecimiento anual de 3.5%,

Figura 1. Mapa de la República de Guatemala.



Fuente Instituto Geográfico Nacional, IGN.

Figura 2. Municipios y cuenca del área metropolitana.



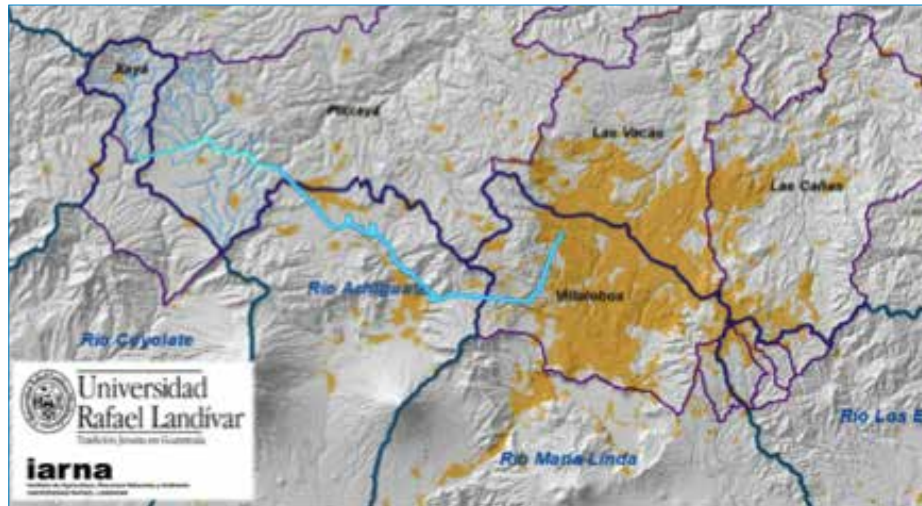
Fuente: IARNA-TNC, 2012.

ocupando un área de 1,461.15 km². En la Figura 2 se muestran los municipios y las cuencas del AM.

El IARNA-URL y TNC (2012a)¹ resumen la situación del agua en el AM de la siguiente manera: “El abastecimiento de agua para el área metropolitana se basa en cinco sistemas de agua superficial vinculados con cinco cuencas hidrográficas (Coyolate, Pixcayá, Las Vacas, Plátanos y María Linda), así como en un número indeterminado de pozos mecánicos que explotan los acuíferos locales. La distribución del agua está gestionada por la Empresa Municipal de

1. Disponibilidad de agua en la región metropolitana de Guatemala: bases fundamentales para la gestión hídrica con visión a largo plazo.

Figura 3. Oferta de agua para las subcuencas del AM y Xayá Pixcayá.



Fuente: IARNA-TNC 2012.

Cuadro 1. Oferta total de agua en el área metropolitana (millones de metros cúbicos)

Escenario	Área Metropolitana	Xayá Pixcayá
Base	1,611	298
A 2020	1,481 (-8.1%)	275 (-7.7%)

Fuente: IARNA-URL TNC (2012a).

Agua (EMPAGUA) en la ciudad de Guatemala, y por los gobiernos locales en los otros municipios del área metropolitana, algunos de los cuales han contratado empresas como Agua de Mariscal. La mayor parte de los residenciales y compañías privadas (industrias, hoteles, centros comerciales, etc.) se abastecen de agua subterránea a través de sus propios pozos mecánicos. Al día de hoy, no existen reglamentaciones relacionadas con la extracción de agua a nivel nacional, y menos a nivel del área metropolitana. La complejidad y la falta de regulación que caracterizan el sistema de extracción de agua contribuyen a la insostenibilidad del sistema de agua del área metropolitana en su globalidad (oferta y demanda)."

El Cuadro 1 presenta los resultados de la oferta total de agua en las subcuencas del AM y del área de Xayá-Pixcayá, así como la tendencia a 2020. En la Figura 3 se muestra el área urbana del AM y las subcuencas de Xayá-Pixcayá.

El IARNA-URL y TNC (2012b)² analizaron la situación del agua subterránea en el AM, estimando la extracción de aguas subterráneas y caracterizando los acuíferos de la zona. El informe indica que "inicialmente se aprovecha el acuífero superior o libre y luego, por el incremento de la demanda, se aprovechan los multiacuíferos presentes en los rellenos volcánicos estratificados. El incremento del aprovechamiento del agua subterránea y la ampliación de las fronteras urbanas han influido en el descenso de la recarga de los niveles del agua subterránea de la zona, lo que ha requerido de hacer más profundos los pozos para penetrar más en el acuífero aprovechado y/o buscar acuíferos más profundos. Por tanto, se trata de aprovechar los acuíferos regionales que se encuentran a más profundidad, los cuales son recargados en las áreas de los rellenos volcánicos y de la zona y formaciones geológicas que traspasan las cuencas hidrográficas. Por lo general, estos acuíferos están en rocas volcánicas fracturadas y en las rocas sedimentarias fracturadas y/o con algún grado de karstificación. Actualmente el recurso de agua subterránea abastece parte de las zonas urbanas, rurales, industriales y actividades de riego, estimándose que se cubre, en orden del 60% al 70% de la demanda de la zona de interés."

2. Elementos de análisis para caracterizar el estado y estimar el consumo de las aguas subterráneas en el área metropolitana de Guatemala.

El IARNA-URL y TNC (2012b) indican que en el área metropolitana “los pozos en el área metropolitana están en el orden de los 80 pies hasta más de los 2 mil pies de profundidad, dependiendo del acuífero o acuíferos captados.”

Las conclusiones del IARNA-URL y TNC (2012b) son que: “i) El área metropolitana, para abastecerse de agua para sus diferentes servicios (abastecimiento de agua a las poblaciones, actividades de riego e industria), está haciendo uso del recurso de agua subterránea. De acuerdo con las estimaciones preliminares realizadas, existen zonas de intenso aprovechamiento de agua subterránea de diferentes acuíferos, que en el tiempo han disminuido sus reservas reflejándose en la variación en el tiempo del nivel del agua subterránea, requiriendo implementar proyectos de reforestación, recarga artificial, que propicien la infiltración, buen uso del recurso etc., y que conlleven al uso sostenible del recurso. ii) En la mayor parte de las micro cuencas la extracción de agua es muy superior a la recarga local estimada, sobre todo en la cuencas más urbanas. iii) Aunque los acuíferos locales pueden beneficiarse de una recarga adicional proveniente del exterior de las micro cuencas estudiadas, se puede concluir que el uso de las aguas subterráneas tiene una tendencia insostenible en el área metropolitana, ya que lo que se extrae es superior a lo que se recarga.”

Los impactos de la urbanización en el país son similares a los de otras ciudades del mundo. Algunos de éstos son: la impermeabilización del suelo por el crecimiento urbano no planificado, no se preservan zonas de recarga, ha disminuido la infiltración del agua y se ha reducido la alimentación de los acuíferos, y se ha provocado también que la escorrentía y los caudales generados por lluvias intensas sean mayores, ocasionando daños a la infraestructura y representando riesgo a las vidas humanas, así como que los caudales de estiaje sean menores. Además, a diferencia de otros países donde las aguas residuales son tratadas, en Guatemala el porcentaje de tratamiento es mínimo, provocando el deterioro de la calidad del agua superficial y subterránea (pozos de absorción) y limitando sus usos aguas abajo.

Las fuentes de contaminación puntuales en el país son similares a las de otras ciudades del mundo. Entre estas fuentes predomina las descargas de las aguas residuales domésticas, sin embargo, en el AM hay también relevantes fuentes industriales

y agroindustriales. En el caso del AM ha sido hasta recientemente, con la promulgación del Acuerdo Gubernativo 236-2006, que el tratamiento de las aguas residuales es obligatorio. Pero las descargas de los drenajes municipales que recolectan aguas residuales de viviendas e industrias desde bastante antes de la promulgación del acuerdo gubernativo, aún no son tratadas.

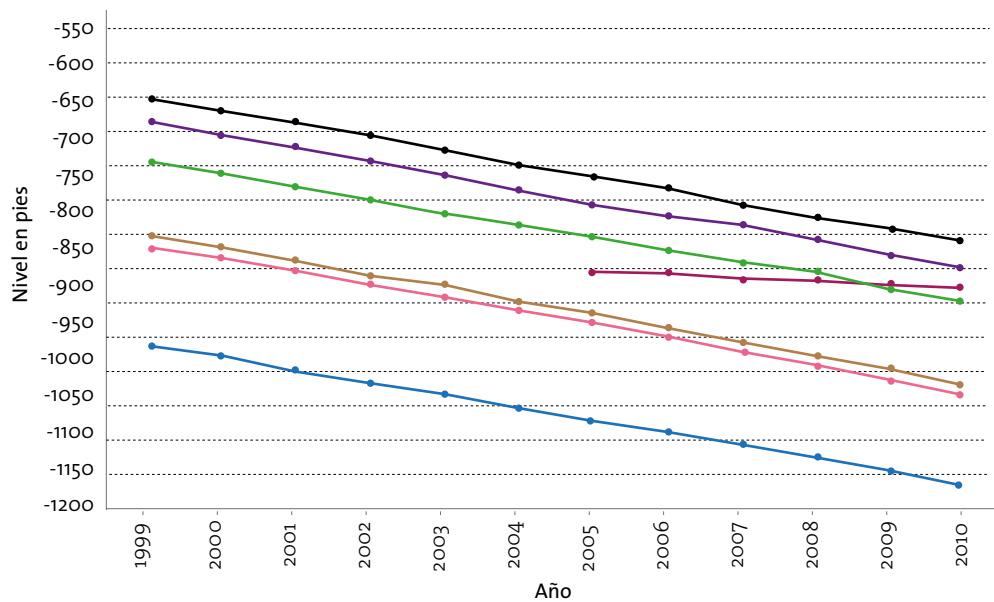
En el país se han enfrentado los problemas de calidad del agua en zonas urbanas, pero aún no se ha podido resolverlos. Un ejemplo es el deterioro de la calidad del agua del Lago de Amatitlán (1,080 msnm), que por estar ubicado aguas abajo de la parte sur de la Ciudad de Guatemala y de algunos municipios del AM (1 mil 500 msnm), recibe aguas residuales sin tratamiento, por lo que se encuentra en estado de hipereutrofización. Además, por el manejo inadecuado del suelo y agua de su cuenca, transporta sedimentos al lago, generando que en la última batimetría realizada en 2012, su vida útil estimada sea de 110 años (AMSA, 2012). En los años sesenta se concebía que el lago pudiera ser un embalse de agua para abastecer al AM, lo cual en estos momentos requeriría de una millonaria inversión.

Interesante es mencionar que en los años sesenta la Municipalidad de Guatemala, ciudad ubicada en el parteaguas de la vertiente del Pacífico y del Atlántico, construyó los colectores de la parte alta de la cuenca del Lago de Amatitlán en contrapendiente, a manera de evitar que las aguas residuales fuesen descargadas hacia el Lago de Amatitlán y se planificó que las industrias se ubicaran en un sector (Petapa), a manera de hacer a futuro un tratamiento conjunto de sus aguas residuales. Pero por la falta de planificación y cumplimiento de las funciones de las municipalidades del AM, la mayoría de las aguas residuales no se tratan, deteriorando las fuentes superficiales y subterráneas.

En el AM se da la impermeabilización del suelo por el avance de la urbanización sin compensación para favorecer la recarga natural ni con prácticas de recarga artificial.

En la ciudad de Guatemala y alrededores existían hasta los años setenta varias lagunas, como la ubicada en el Parque de la Industria y en El Naranjo, y nacimientos como los balnearios en Lo de Bran y Ciudad Vieja, las cuales se secaron al bajar el nivel freático y dejar de abastecerlos de agua. Es más: en parte, la población prehispánica de Kaminal Juyú se

Figura 4. Descenso de niveles de agua subterránea, en siete pozos monitoreados, Acuífero Calizas del Norte (1999-2010).



Fuente: IARNA-URL y TNC, 2012b.

asentó en ese lugar (al oeste de la Ciudad de Guatemala) por la disponibilidad de agua superficial, ya que existían lagunas.

Los rendimientos de los pozos mecánicos han disminuido de 1 mil 246 litros/segundo a 701 litros/segundo y los niveles freáticos han aumentado de 450 pies a 1 mil 700 pies de profundidad. Esta situación provoca que haya que extraer agua de mayor profundidad de pozos de menores rendimientos, aumentando los costos. A manera de ejemplo, en 2010 el costo promedio de producir un metro cúbico en la planta Lo de Coy (fuente superficial por gravedad) era de Q. 0.50, mientras que de una fuente superficial pero con bombeo, como Las Ilusiones, el valor era entre Q. 3.00 y 5.00.³

Como una indicación de la variación del nivel del agua subterránea a través del tiempo, el IARNA-URL y TNC (2012b) hicieron un análisis de diez años en seis pozos de 12" a 1 mil 300 pies de profundidad, y otro análisis de un pozo durante cinco años de 1 mil 700 pies ubicados en las calizas del norte. En la Figura 4 se muestra la variación del nivel del agua medido en los pozos. La tendencia es de descenso del nivel del agua en el tiempo, lo cual indica que se está extrayendo más de lo que el acuífero se está recargan-

do; los seis pozos muestran un descenso de 16 pies por año y el restante de 4 pies. Esto último porque la extracción es más profunda.

Por la menor disponibilidad relativa de agua superficial de la parte alta del AM y por el crecimiento urbano, el Gobierno planificó y construyó en los años setenta el acueducto Xayá Pixcayá, que captó 1 m³/segundo en época de estiaje, desde 60 kilómetros de la Ciudad de Guatemala. A partir de su inauguración hasta la fecha (35 años), el trasvase de estas aguas ha contribuido a que alrededor de 400 mil personas pueden contar con agua en la ciudad (216 litros/habitante/día). Aún más, los planificadores desde ese entonces diseñaron el acueducto para que pudiese conducir agua hasta 3 m³/segundo, lo cual de manera visionaria previeron que se pudiese adicionar con otras fuentes superficiales y subterráneas; hay otra versión que indica que el acueducto fue sobredimensionado. A la fecha, a pesar de requerirse de mayor caudal de agua, y que el acueducto lo podría transportar, no ha sido factible adicionar este caudal debido en parte a la falta de instrumento de retribución financiera (pago) y a la conflictividad social. En parte por esa situación, la EMPAGUA (2012) se ha visto en la necesidad de comprar aproximadamente 20% del agua que distribuye a empresas privadas y seguirá probablemente en aumento.

3. Un dólar americano equivale a 7,70 quetzales, moneda de Guatemala.

En los doce municipios que conforman la zona metropolitana de Guatemala se consume un total de 553.4 millones de metros cúbicos de agua al año, lo que equivale a un promedio de 189 m³/cápita/año. El 91% del agua que se consume proviene de los mantos acuíferos, donde las microcuencas de Las Vacas y Villalobos proveen 67% del total (lo cual denota al mismo tiempo la intensidad de la extracción en dichas cuencas) y 9% de las cuencas Xayá y Pixcayá (51.1 millones de m³) (URL-IARNA y TNC, 2012b).

Las oportunidades de empleo que ofrece el AM ha inducido la migración de personas, provocando que algunos municipios tengan tasas de crecimiento hasta de 10% anual, y que municipios como Guatemala, Mixco y San Miguel Petapa estén totalmente urbanizados. Dependiendo de los ingresos que perciban las personas en el AM, éstas se asientan en zonas periurbanas y asentamientos informales, siempre en el AM.

La falta de planificación y del ejercicio de las funciones de las municipalidades ha provocado la proliferación de asentamientos informales, principalmente en las zonas marginales, donde las amenazas naturales y su vulnerabilidad representan un alto riesgo para las vidas humanas. Los asentamientos se proveen de agua a través de camiones cisternas, cuya calidad es cuestionada y el valor de la misma es bastante mayor a la provista por el sistema municipal.

En las zonas periurbanas conformadas por residenciales, el abastecimiento de agua es provisto por pozos mecánicos, sin que la municipalidad tenga control sobre los mismos en cuanto a la sobreexplotación del acuífero y medidas de recarga. Igualmente no hay evaluación sobre la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales de las colonias y su efecto sobre las fuentes superficiales y subterráneas.

Recientemente comenzó la iniciativa promovida por The Nature Conservancy (TNC) conocida como "Fondo para la Conservación del Agua en la Región Metropolitana de Guatemala" (FONCAGUA). En Latinoamérica existe una alianza conformada por 25 iniciativas del Fondo en ocho países de América, incluyendo Guatemala, y en junio de 2013 se realizó en Panamá el segundo encuentro de dichas iniciativas. Este Fondo será un mecanismo financiero para invertir en infraestructura verde (protección de suelos, bosques y aguas; mejores prácticas de sistemas productivos; infraestructura de cosecha de agua y

recarga hídrica; fortalecimiento a la gobernanza e institucionalización; educación para el ahorro del agua) (Juan Carlos Godoy, con. per.).

Los Fondos del Agua son mecanismos eficientes y autosostenibles que permiten generar recursos para pagar la conservación de las áreas productoras de agua. Como se ha indicado anteriormente, por cada 1 m³/segundo de agua trasvasado desde hace 35 años de las cuencas de los ríos Xayá y Pixcayá, no se ha retribuido financieramente algo para la conservación de los recursos naturales de sus cuencas. El modelo prevé que los grandes usuarios del agua estén dispuestos a poner recursos financieros para fortalecer el fondo para asegurar su cantidad y calidad a futuro a un costo menor. Los fondos son mecanismos institucionales con múltiples actores, cuyo objetivo es proveer fuentes de financiamiento para la protección de los territorios clave en términos de producción de servicios ecosistémicos y, en particular, el agua. El éxito de estos fondos radica en la cuantificación precisa de dichos servicios, así como en la adopción de mecanismos financieros sostenibles con un manejo transparente. Algunos de los documentos utilizados para elaborar este capítulo y los elaborados por el IARNA-URL y TNC, constituyen estudios técnicos necesarios para el diseño de dicho fondo (Juan Carlos Godoy, con. per.).

Con el fin de diseñar y poner en marcha el FONCAGUA se ha constituido un grupo promotor en donde participan empresas privadas, autoridades públicas, gobiernos locales, instituciones académicas y ONG. Ya se han iniciado acciones como reforestación de 150 mil hectáreas en las cuencas Xayá Pixcayá, con la participación de la empresa Agrobosques y TNC (Juan Carlos Godoy, con. per.).

Los objetivos del Fondo son: i) Asegurar a mediano plazo el agua en calidad y cantidad para los habitantes y usuarios institucionales y empresariales del AM; ii) mejorar la gestión ambiental de las cuencas y zonas de recarga hídrica (reservas privadas, bosques comunales y municipales en el cinturón verde del AM, y adopción de mejores prácticas agropecuarias y de cosecha, producción y almacenamiento del agua); iii) aumentar la conciencia de la ciudadanía del AM en cuanto al uso y consumo sostenible del agua y sus implicaciones de costo ambiental; y, iv) contribuir a la gobernabilidad del agua y al fortalecimiento institucional para la gestión del agua (Juan Carlos Godoy, con. per.).

El IARNA-URL y TNC (2013)⁴ realizaron un estudio de la demanda y consumo de agua en la zona metropolitana, así como también establecieron el valor económico que poseen los bosques por su contribución al ciclo hidrológico de la zona. En este estudio, la valoración ambiental es utilizada para estimar el valor del bosque para la producción y conservación de agua en la Zona Metropolitana de la Ciudad de Guatemala, es decir, estima el valor del servicio ecosistémico que prestan los bosques para proveer el vital líquido a la población de la metrópoli central de Guatemala. Con ello se darán elementos para la creación de un fondo que promueva la conservación del bosque para asegurar la provisión de agua a la población.

La URL-IARNA y TNC (2012a) estimaron el balance hidrológico del AM “calculando que el total de flujo de entrada equivale a 2,211 millones de metros cúbicos de agua, del cual la precipitación suma el 86%, el almacenamiento en el suelo representa el 12% y la infiltración proveniente de la irrigación el 2%.”

La URL-IARNA y TNC (2012b) muestran que “la extracción de agua de los mantos acuíferos es la principal fuente de abastecimiento para el consumo del líquido en la zona metropolitana, la cual ha sido estimada en un 91% del consumo total de la zona. En tal sentido, se puede afirmar que un componente importante de la gestión del agua está en el correcto balance entre infiltración y extracción de agua de los mantos acuíferos.”

La URL-IARNA y TNC (2012b) muestran que “61% de las extracciones de agua subterránea son para fines domésticos, el 31% para municipalidades, el 7% para la industria y comercio, y el 2% para el riego. Estas cifras sugieren, por tanto, que los hogares son los principales consumidores en la zona metropolitana de Guatemala.”

3. Servicio de agua potable en zonas urbanas

A nivel nacional en Guatemala existe un déficit de cobertura, así como la intermitencia de los servicios por red y la deficiencia en la calidad del agua.

4. Análisis de la demanda de agua y evaluación del valor ambiental de las zonas de recarga hídrica en la zona metropolitana de la Ciudad de Guatemala.

Según la ENCOVI (2011), la cobertura de los hogares con servicio de agua para consumo humano era de 75.3%. En la Figura 5 se presenta la tendencia de la cobertura de los servicios de abastecimiento de agua.

Se puede observar en la Figura 5 que, según información de la ENCOVI (2006), la cobertura de agua para consumo humano era de 78.7%, lo que refleja un retroceso de 3.4% a 2011. No se conoce con certeza la causa de dicha disminución. Podría suponerse que se debe a los daños ocasionados por eventos hidrometeorológicos extremos ocurridos en el país en los últimos años (la Tormenta Tropical “Agatha” en el año 2010) y al crecimiento en el acceso a los servicios, por lo que se ha ido rezagando en relación con el crecimiento de la población. Para el año 2002, la cobertura urbana era de 89.4%, representando 50.2% del total de hogares a nivel nacional.

Referente a la intermitencia de los servicios por red, un estudio elaborado por el BID⁵ en 2008 estimó que en el país 80% de los sistemas funcionan de forma intermitente, proporcionando entre 6 y 12 horas de servicio por día. Con respecto a la calidad del agua, se estima que sólo 15% del agua abastecida por los sistemas es desinfectada y que sólo 25% de los municipios a nivel urbano cuenta con sistemas de desinfección. Datos del Programa Nacional de Vigilancia de la Calidad del Agua, PROVIAGUA, del MSPAS, muestran que de los 10 mil 277 sistemas de agua registrados,⁶ solamente 17% cuenta con desinfección de agua.

En relación a los servicios de saneamiento, según la ENCOVI (2011), la cobertura nacional de los sistemas por red de alcantarillado es de 38%. El resto de la población cubre sus necesidades de saneamiento domiciliario a través de uso de letrina, pozo ciego (41% de los hogares), excusado lavable (7% de los hogares) e inodoro conectado a fosa séptica (6% de los hogares). En la Figura 6 se muestra la tendencia de las coberturas.

El suministro de agua en la ciudad de Guatemala está a cargo de la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA) y empresas privadas que cuentan con pozos mecánicos propios. Los otros municipios que confor-

5. Samper, Olga (2008). Informe final: Plan Estratégico del Sector Agua de Agua Potable y Saneamiento. Guatemala: Banco Interamericano de Desarrollo. Washington, D.C.

6. Información proveniente del inventario de sistemas de agua trasladado a PROVIAGUA durante el Taller con Directores y Supervisores de Saneamiento de las Áreas de Salud, junio de 2012.

Figura 5. Hogares con acceso a fuentes mejoradas de abastecimiento de agua potable: hogares con chorro conectado a tubería dentro o fuera de la vivienda y chorro público.

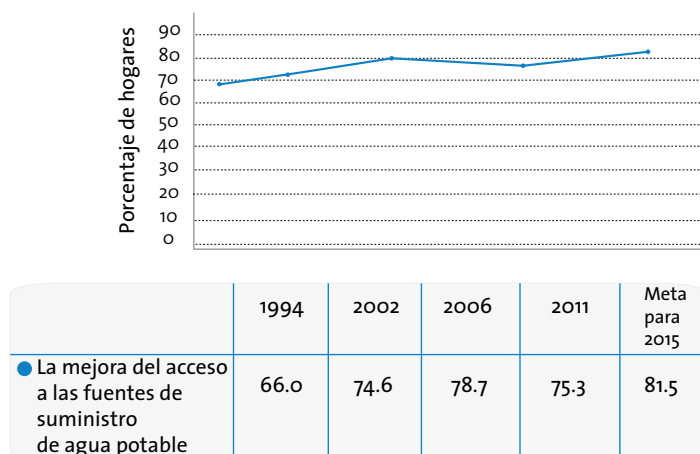
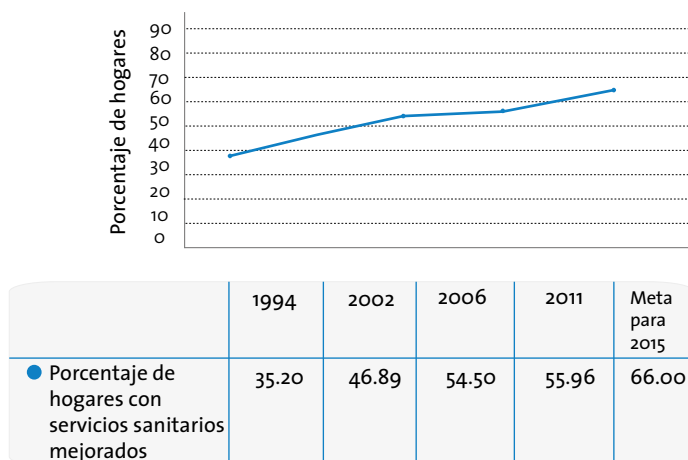


Figura 6. Hogares con servicios de saneamiento mejorados: hogares con inodoro conectado a red de drenaje, inodoro conectado a fosa séptica y excusado lavable.



Fuente: Presentación "La Meta 7C en el ODM", SEGEPLAN, 2012.

man el AM abastecen sólo a un pequeño porcentaje de usuarios urbanos. Hoteles, industrias y otros usuarios que demandan volúmenes comparativamente grandes de agua instalan sus propios pozos para asegurar cantidad y continuidad. Sin embargo, un porcentaje alto de la población urbana que vive en asentamientos precarios se abastece comprando agua a camiones cisternas privados, a costos más elevados que los que se pagan al servicio de la EMPAGUA, por ejemplo, y de calidad cuestionable.

Adicionalmente, las tarifas por el servicio de abastecimiento de agua no cubren los gastos de operación y mantenimiento, salvo en ciertos sectores de la Ciudad de Guatemala (EMPAGUA, la empresa Agua Mariscal y las empresas que abastecen residenciales privados), lo que ha dado como resultado el deterioro de la infraestructura existente, el subsidio para las áreas urbanas y la ampliación del servicio por medio de sistemas alternos (camiones cisternas) que, como se indicó anteriormente, son de dudosa

calidad y costo superior. La Municipalidad de Villa Nueva –municipio que forma parte del AM– subsidia mensualmente a los usuarios urbanos en Q. 1,0 millón (alrededor de US\$ 125.000); el precio promedio del metro cúbico que cobra la EMPAGUA es de Q. 1.80, cuando su costo de producción es de Q. 3.50. Las tarifas de la EMPAGUA son de Q. 2.90 /m³ para consumos entre 1 a 20 m³; Q. 3.71 /m³ para consumos entre 21 a 40 m³; Q. 4.45 /m³ para consumos entre 41 a 60 m³; y, Q. 8.90 /m³ para consumos entre 61 a 120 m³.⁷

Otro indicador relevante es el porcentaje de pérdidas en los sistemas de servicio de agua. En las áreas urbanas las pérdidas llegan hasta 50%, mientras que en el área rural son de 10%.

El abastecimiento de agua para el AM y otras áreas urbanas presenta, entre otras cosas, dos grandes retos: la sobreexplotación de los acuíferos, con los consecuentes incrementos en los costos de bombeo, y el acceso a nuevas fuentes de agua que se encuentran fuera de su jurisdicción, lo cual crea conflictos. En el primer caso, la solución al problema depende fundamentalmente de ordenar el aprovechamiento de los acuíferos, a través de distintos instrumentos de gestión, cuya aplicación resulte del consenso entre las partes. En el segundo caso, será necesario considerar mecanismos de asignación y compensación.

7. Prensa libre.

Cuadro 2. Número de plantas de tratamiento de aguas residuales

Municipio	Municipal	Privada	Total
Amatitlán	4		4
Fraijanes	2		2
Guatemala	4	4	8
Magdalena Milpas Altas	2		2
Mixco	13	1	14
San Bartolomé Milpas Altas	1		1
San Lucas Sacatepéquez	2		2
San Miguel Petapa	5	5	10
San Pedro Sacatepéquez	3		3
Santa Catarina Pinula	3		3
Santa Lucía Milpas Altas	1		1
Villa Canales	1	2	3
Villa Nueva	17	9	26
Total general	58	21	79

Fuente: AMSA, 2013.

4. Tratamiento de agua en ciudades

En los municipios de la cuenca del Lago de Amatitlán, que abarca parte del AM, hay 79 plantas de tratamiento de aguas residuales. En el Cuadro 2 se muestra que 58 de las plantas son municipales y el resto son privadas a cargo de los comités de los residenciales.

En el Cuadro 3 se muestra que el caudal tratado por las 79 plantas de tratamiento de aguas residuales en los municipios de la cuenca del Lago de Amatitlán es de 126 mil 201 m³. La población proyectada en 2014 para la cuenca del Lago de Amatitlán es de 1 millón 147 mil 540 habitantes, que producirán alrededor de 137 mil 705 m³ de aguas residuales por día, por lo que se podría tratar 91.6% de las aguas residuales.

Sin embargo, como se muestra en el Cuadro 4, son pocas las plantas que están funcionando adecuadamente. Además, al evaluar 47 de las 79 plantas de tratamiento de aguas residuales, se reportó que siete ya no funcionan, 14 se encuentran en total abandono, ocho funcionan en su mínima capacidad, ocho funcionan a media capacidad, nueve se encuentran funcionando a su máxima capacidad y uno se encuentra en fase de construcción. Ninguna planta de tratamiento cuenta con operadores, solamente tienen guardianes.

La EMPAGUA invierte US\$ 392 mil al mes para tratar el agua cruda y hacerla potable, lo que equi-

Cuadro 3. Número de plantas de tratamiento de aguas residuales

Municipio	Caudal (m ³ / día)
Amatitlán	2,246.40
Fraijanes	604.80
Guatemala	18,489.60
Magdalena Milpas Altas	259.20
Mixco	24,114.24
San Bartolomé Milpas Altas	1,728.00
San Lucas Sacatepéquez	345.60
San Miguel Petapa	40,617.50
San Pedro Sacatepéquez	518.40
Santa Catarina Pinula	518.40
Santa Lucía Milpas Altas	86.40
Villa Canales	3,231.36
Villa Nueva	33,441.12
Total general	126,201.02

Fuente: AMSA, 2013.

Cuadro 4. Estado de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Municipios	01 - Terreno	02 - En construcción	03 - Rehabilitación	04 - Operación normal	Capacidad			08 - Estructuras s-destruidas	09 - Estructuras destruidas	10 - No cuenta planta	11 - Desconocido	Total general
					05 - Máxima	06 - Media	07 - Mínima					
Amatitlán					1	1		1	1			4
Fraijanes	1				1							2
Guatemala						5		1	2			8
Magdalena Milpas Altas				2								2
Mixco		1	1	3		1	2	2		4		14
San Bartolomé Milpas Altas								1				1
San Lucas Sacatepéquez		1			1							2
San Miguel Petapa					1	2	4	3				10
San Pedro Sacatepéquez								3				3
Santa Catarina Pinula		1			2							3
Santa Lucía Milpas Altas				1								1
Villa Canales					1	1	1					3
Villa Nueva			3	6	3	1		6	3		4	26
Total general	1	3	4	12	10	11	7	17	6	4	4	79

Fuente: AMSA, 2013.

vale a US\$ 4.7 millones al año (P. Alvarado, con. per.) Un porcentaje de esta inversión se debe a que el agua cruda está contaminada por aguas residuales.

5. Agua y salud en las ciudades

Por lo general, los datos para el análisis y toma de decisiones provienen de los censos y encuestas nacionales, pero esta información no se genera de forma sistematizada y continua.

Para el año 2010, la tasa de mortalidad general fue de tres muertes por cada mil habitantes y la de mortalidad infantil fue de 30 por cada mil nacimientos. En menores de 5 años, entre las principales causas de mortalidad, se contaron las enfermedades infecciosas y parasitarias (66 por cada 100 mil) y las afecciones originadas en el periodo perinatal (37 por cada 100 mil)⁸

Datos del Sistema de Información Gerencial en Salud (SIGSA) indican que durante el año 2011 los eventos que ocuparon el mayor número de primeras consultas por morbilidad (4 millones 490 mil 279 consultas) a los servicios de salud, en todos los gru-

pos de edad, fueron las infecciones respiratorias agudas con 48%, seguidos de parasitosis intestinal con 10%, gastritis con 9%, infecciones de las vías urinarias con 7% y otras enfermedades diarreicas agudas con 6%, lo que representa 80% del total de las consultas.⁹ Las primeras 10 causas de morbilidad general a nivel nacional se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Primeras 10 causas de morbilidad general nacional año 2011 - Enero a Noviembre.

Descripción Diagnóstico	Femenino	Masculino	Total
Infecciones Respiratorias Agudas	1,234,579	903,224	2,137,803
Parasitosis Intestinal	304,699	147,003	451,702
Gastritis	254,182	145,667	399,849
Infección de las Vías Urinarias	242,913	61,754	304,667
Otras Enfermedades Diarreicas Agudas	144,398	126,247	270,645
Anemia	119,751	41,521	161,272
Cefalea	126,755	32,942	159,697
Conjuntivitis	54,029	38,491	92,520
Dermatitis	53,092	38,125	91,217
Alergia no Especificada	51,214	32,338	83,552
Total	2,745,294	1,744,985	4,490,279

Fuente: Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Diagnóstico Nacional de Salud. Marzo de 2012.

8. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Diagnóstico Nacional de Salud. Marzo 2012.

9. Ibidem

Durante el año 2011 se reportaron 378 mil 602 casos de enfermedades transmitidas por alimentos y agua. Los casos reportados incluyeron diarreas, hepatitis, intoxicaciones alimentarias y otras. En todo el país tuvieron incidencia en 2.6% de la población total, lo que comparado con el año 2010 representó una disminución de 29% de casos registrados.¹⁰

En cuanto al rotavirus, en 2011 fueron reportados 724 casos en menores de 5 años: comparados con el año 2010 (5.932 casos), representó una disminución de 88%. En una serie temporal se puede observar el efecto que ha tenido la introducción de la vacuna en este evento. La vacuna aplicada actualmente contiene los virus que han circulado en los últimos tres años. Los departamentos que más casos reportaron fueron Escuintla (160 casos), Quiché (134 casos) y Huehuetenango (113 casos). No hay diferencia significativa por sexo.¹¹

Durante el año 2011 se reportaron 3 mil 281 casos de dengue, de los cuales 78% fueron clínicos, con 687 confirmados y 29 casos de dengue hemorrágico. Hubo 11 defunciones atribuidas a dengue. En comparación con el año 2010, 2011 no fue un año epidémico para este evento.¹²

En año 2011, durante las 52 semanas epidemiológicas, se reportaron al SIGSA 2 mil 664 casos confirmados de malaria a una tasa de 22 x 100 mil habitantes, siendo el *Plasmodium vivax* el más frecuente a nivel nacional, con 98% del total de casos registrados. Hay que hacer notar que en comparación con el año 2010 se registró únicamente la mitad de casos, tendencia que se ha venido observando desde hace varios años.¹³

Al realizar una correlación con los indicadores desarrollados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), respecto del impacto de las inversiones en agua potable y saneamiento en la salud, resulta que por cada dólar invertido en éstos se logra la reducción al menos de 10% de las enfermedades diarreicas. Es decir que por cada dólar que se invierte se logrará una reducción de cinco dólares de los presupuestos del Ministerio de Salud.

6. Variabilidad y cambio climático, su impacto en el recurso agua en ciudades

Guatemala es altamente susceptible a fenómenos hidrometeorológicos extremos, especialmente crecidas de gran magnitud. En la última década, el Huracán “Stan” en 2005 y la Tormenta Tropical “Agatha” en 2010 ocasionaron pérdidas al país por más de US\$ 1 mil 900 millones, de los cuales US\$ 745 millones afectaron directamente la infraestructura.¹⁴ Sólo en el departamento de San Marcos se dañaron 331 sistemas de abastecimiento de agua. En el caso de “Agatha” fue el efecto combinado de la tormenta con la erupción del volcán Pacaya. El Huracán “Mitch”, en 1998, afectó un área más amplia y también presentó daños de más de US\$ 115 millones en infraestructura,¹⁵ el número de sistemas de agua dañados fue de 237.

Con los efectos de cambio y variabilidad climática se prevé que este tipo de eventos será cada vez más frecuente. Como país en desarrollo, los costos de inversión en infraestructura dañada implican un desvío de recursos en reconstrucción, que limita la construcción de nuevas obras. Éste es un costo económico que afecta toda la economía del país y no sólo del lugar afectado específicamente.

Aunque Guatemala es altamente vulnerable por la amenaza de los fenómenos hidrometeorológicos y sus altos índices de población e infraestructura en riesgo, es poco lo que se puede hacer para reducir efectivamente la emisión de gases efecto invernadero, ya que son los grandes países industrializados quienes emiten más de 80% de los gases a nivel mundial, por lo que es necesario concentrarse en medidas de adaptación que reduzcan la vulnerabilidad.

El principal efecto del cambio climático en las zonas urbanas son principalmente las inundaciones, además de las sequías que afectan primordialmente la disponibilidad de agua para los sistemas de abastecimiento. Las primeras se deben al aumento de la intensidad o magnitud de las tormentas, así como una tendencia al incremento en la frecuencia de ocurren-

10. *Ibid.*

11. *Ibidem*

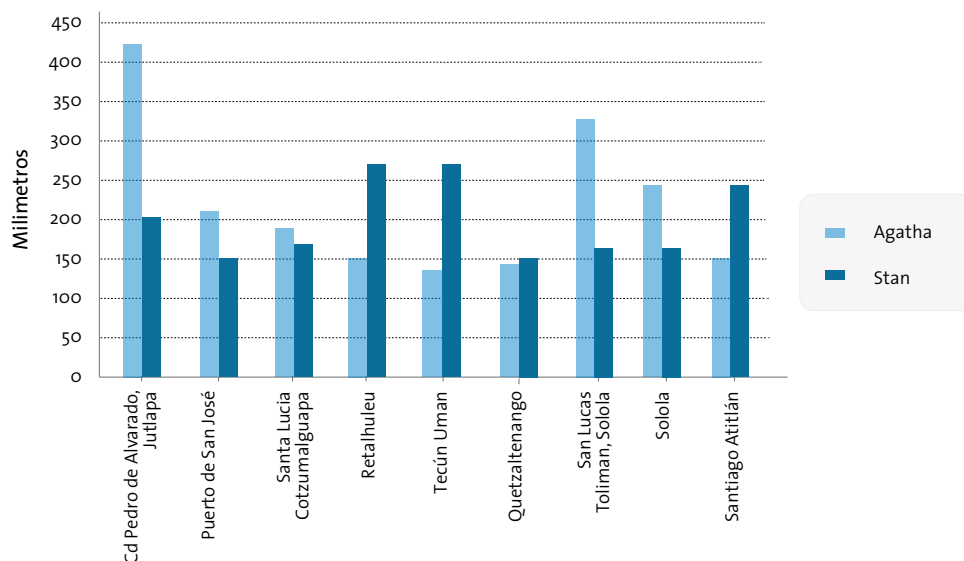
12. *Ibidem*

13. *Ibidem*

14. Informes de la CEPAL con respecto a “Stan” (2005) e informe de SEGEPLAN (2010) con respecto a “Agatha”.

15. Informe de la CEPAL sobre la Evaluación de los Daños Ocasionados por el Huracán “Mitch” (2004).

Figura 7. Comparación de datos de lluvia de 24 horas Tormenta Tropical “Agatha” (25-30 mayo 2010) versus Huracán “Stan” (1-10 octubre 2005)



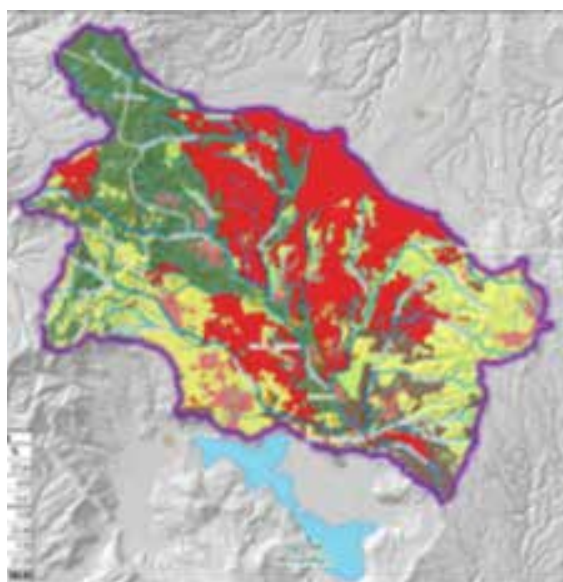
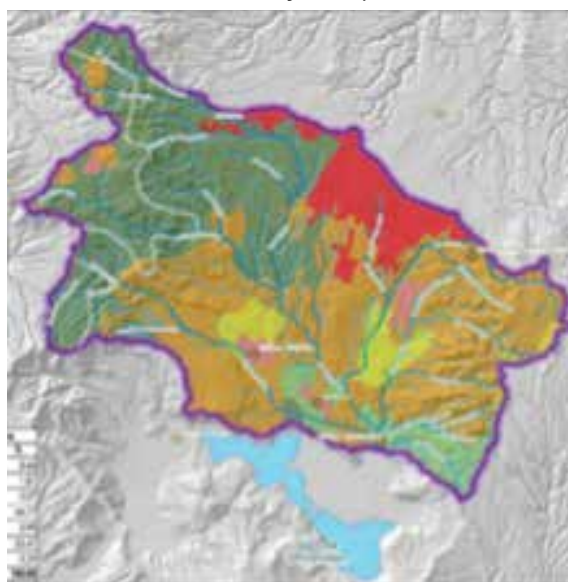
cia de las mismas. En otras palabras, se presentan tormentas de mayor intensidad que ocurren cada vez más cerca una de otra. Esto se confirma por el hecho de que, en los últimos quince años, se han presentado tres eventos de gran magnitud, representados por los huracanes “Mitch” y “Stan”, así como por la Tormenta Tropical “Agatha”. En la Figura 7 se muestra la precipi-

tación de 24 horas durante “Stan” y “Agatha” en distintas partes del país.

Fuentes (2013) cuantificó el efecto asociado a la urbanización sobre el ciclo del agua, principalmente sobre los componentes de precipitación y escurrimiento superficial, en la subcuenca del Río Villalobos, donde se asienta una parte del AM. El análisis

Figura 8 and 9. Uso del suelo en la subcuenca del Río Villalobos en 1972 (arriba) y en 2012 (abajo).

El área en rojo es la parte urbana.



Fuente: J. C. Fuentes, 2013.

indicó que se establecen claramente dos grupos de estaciones: las ubicadas en áreas expuestas a procesos de urbanización y aquellas donde este proceso es menor. Además, las series anuales y las máximas (de precipitación diaria y ascenso diario máximo anual) presentan una tendencia positiva significativa. Para estimar el impacto en el escurrimiento superficial, se modeló el hidrograma para el evento más extremo suscitado –la Tormenta Tropical “Agatha”–, para las condiciones de urbanización de los años 1972 y 2012 (figuras 8 y 9).

El aumento en las áreas urbanas en los últimos 40 años (aproximadamente 22% del área total de la subcuenca del Río Villalobos-Lago de Amatitlán) ha ocasionado incrementos significativos en los componentes del hidrograma, caudal pico y escurrimiento superficial principalmente, disminuyendo únicamente en el tiempo de concentración, dado que la subcuenca está en un proceso continuo de urbanización. Los resultados muestran que sí hay impactos considerables al ciclo hidrológico (Figura 10).

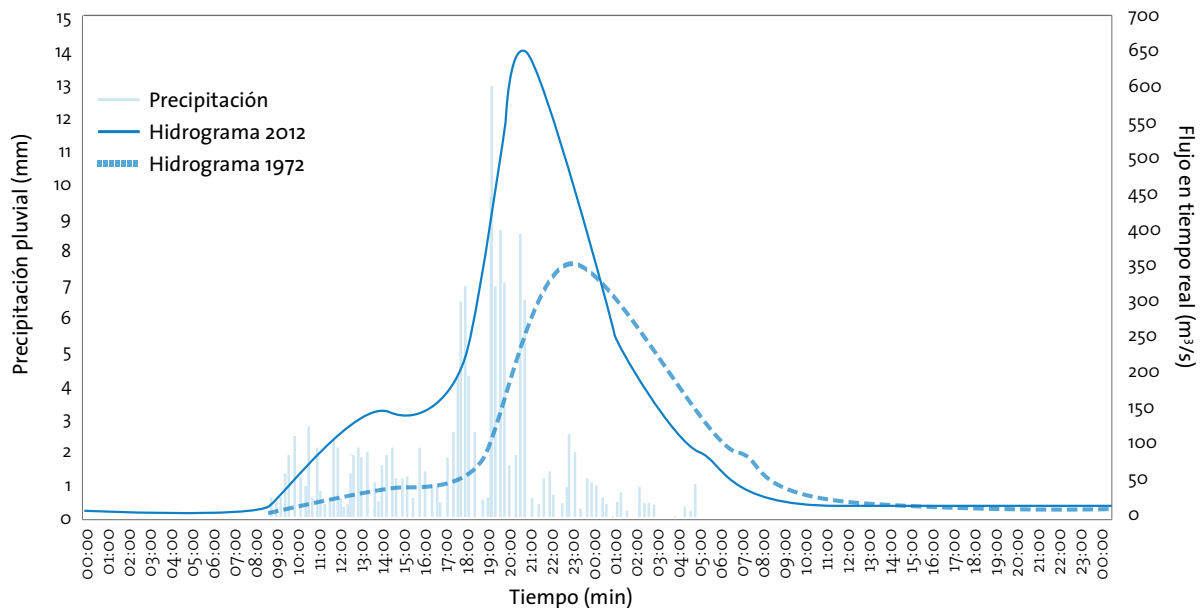
La AMSA (2013) contrató el estudio de batimetría del Lago de Amatitlán y el arrastre de sedimentos del Río Villalobos. Los resultados del estudio indicaron que entre la última batimetría del 2001 a la de 2012 se depositaron en el lago $14,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ de sedimentos, habiendo perdido durante ese período alrededor de

9% de su volumen total del lago (Figura 11). Además, la tasa de sedimentación se duplica durante eventos climatológicos extremos, como “Agatha” en 2010.

La URL-IARNA y TNC (2012a) reportan que “los bosques son los que aportan mejores condiciones para la infiltración de agua en los mantos acuíferos, identificándose las áreas que deben ser conservadas y aquellas que deben ser reforestadas para mejorar la oferta hídrica del área metropolitana. La cobertura forestal actual en la zona metropolitana de Guatemala es de 21.244 hectáreas, y contribuye a infiltrar al subsuelo un total de 214,5 millones de metros cúbicos de agua al año. Adicionalmente, se consideró la reforestación de 39.831 hectáreas, con lo que podrían infiltrarse unos 206,7 millones de metro cúbicos adicionales anualmente.”

En el futuro cercano, debido al cambio climático, “se espera que llueva menos en la zona metropolitana. Si se conserva la cobertura actual (las 21.244 hectáreas), para el 2020 se infiltrarán 195,6 millones de metros cúbicos, lo que representaría un 10% menos de lo que se infiltra hoy. Si, adicionalmente a la conservación del bosque se reforesta un total de 39.831 hectáreas, se infiltrarían 206,7 millones de metros cúbicos, lo que representaría una disminución del 5% únicamente.”

Figura 10. Hidrogramas en la subcuenca del Río Villalobos en 1972 y en 2012.

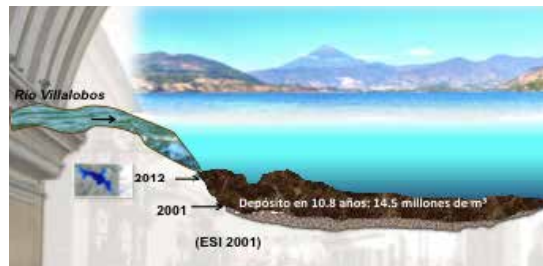


Fuente: J.C. Fuentes, 2013.

Las zonas urbanas se ven entonces condicionadas, en primer lugar, a los avances de la zona urbana o su densificación, cambios que son extremadamente rápidos debido a la migración y desarrollo que ejerce la atracción de los centros urbanos como fuentes de trabajo, estudio y cultura. Adicionalmente, a este avance se suman los efectos de la variabilidad climática con intensidades de lluvia de mayor magnitud y más frecuentes, todos los cuales representan retos preocupantes a la estructura municipal para el manejo de las aguas urbanas. Ante este avance de la zona urbana y la variabilidad climática, generalmente las municipalidades son rebasadas en la prestación de los servicios, especialmente en el tema de drenajes pluviales, sanitarios y la dotación de agua potable.

En este sentido es necesario buscar mecanismos que viabilicen la operación de los sistemas públicos. Una alternativa es la internalización de los impactos hidráulicos de los nuevos desarrollos sobre los servicios públicos municipales. Una vez definidos los impactos, se deben plantear medidas de mitigación que los disminuyan. Esto lo pueden lograr los municipios a través de una reglamentación que busque que los nuevos desarrollos reduzcan sus impactos, y que si no están dispuestos a realizarlos, deben entonces pagar por la infraestructura requerida para el adecuado manejo de las aguas.

Figura 11. Volumen de sedimentos depositados en el Lago de Amatitlán entre 2001 y 2012.



Fuente: AMSA, 2012.

Así, los impactos hidráulicos que cualquier nuevo desarrollo produce son los siguientes:

- Impacto por no infiltración;
- Impacto por incremento de la demanda;
- Impacto al sistema sanitario;
- Impacto por descargas contaminadas;
- Impacto por escorrentía producida; e,
- Impacto por intervención en cauces.

La Municipalidad de Guatemala ha iniciado algunas medidas como la cosecha de aguas de lluvia en depósitos para escuelas y viviendas en áreas periurbanas, así como los tanques retardadores, entre otros, con la participación de los beneficiarios.

7. Conclusiones

La Ciudad de Guatemala y parte del resto del área metropolitana (AM) se encuentran en el parteaguas de la vertiente del Pacífico y del Atlántico, por lo que las fuentes superficiales son comparativamente escasas y, en consecuencia, se ha tenido que explotar las fuentes subterráneas. El AM está conformada por 12 municipalidades, 20 subcuencas y alrededor de 2 millones de habitantes, con una tasa de crecimiento anual de 3,5%, ocupado un área de 1,461.15 km².

El crecimiento urbano de la Ciudad de Guatemala desde su creación en 1776, pero sobre todo de los otros municipios del AM en las últimas cuatro décadas, ha provocado la reducción de la infiltración de agua por la impermeabilización y la sobreexplotación de los acuíferos por la demanda creciente, así

como la contaminación de las fuentes superficiales y subterráneas por la descarga de aguas residuales sin tratamiento.

El aumento en las áreas urbanas en los últimos 40 años (aproximadamente 22% del área total de la subcuenca del Río Villalobos) ha ocasionado incrementos significativos en los componentes del hidrograma, caudal pico y escurrimiento superficial principalmente, disminuyendo únicamente en el tiempo de concentración y evidenciando que sí hay impactos considerables al ciclo hidrológico.

Los resultados del estudio reciente de batimetría del Lago de Amatitlán indicaron que, entre 2001 y 2012, se depositaron en el lago 14,5 millones de metros cúbicos de sedimentos, habiendo perdido

durante ese período alrededor de 9% de su volumen total. Además, la tasa anual de sedimentación se duplica durante eventos climatológicos extremos, como la de la Tormenta Tropical “Agatha” ocurrida en mayo de 2010.

En el futuro cercano, debido al cambio climático, se espera que llueva menos en la zona metropolitana. Si se conserva la cobertura actual (las 21 mil 244 hectáreas), para 2020 se infiltrarán 195,6 millones de metros cúbicos, lo que representaría 10% menos de lo que se infiltra hoy. Si, adicionalmente a la conservación del bosque, se reforesta un total de 39 mil 831 hectáreas, se infiltrarían 206,7 millones de metros cúbicos, lo que representaría una disminución de 5% únicamente.

8. Recomendaciones

El abastecimiento de agua al AM requiere de un esfuerzo coordinado entre las municipalidades debido a que la explotación del agua subterránea como hasta ahora es insostenible, si no se favorece natural y artificialmente la infiltración y se mejora la demanda (menor consumo) y oferta (menor número de fugas y conexiones ilícitas). La Municipalidad de

Guatemala recién ha iniciado proyectos de cosecha de aguas de lluvia y tanques de retardo.

La iniciativa del Fondo de Agua para el AM pretende contar con mecanismos financieros para conservar los bosques e incentivar el cambio de uso en áreas de recarga, con la finalidad de lograr un balance sostenible entre la oferta y la demanda actual y futura del abastecimiento de agua al AM, lo que debe ser apoyado por todos los sectores públicos y privados.

Otra línea de acción coordinada entre las municipalidades del AM es lograr el tratamiento de todas las aguas residuales. La inversión millonaria que se requerirá deberá ser compartida con los generadores. La contaminación del Lago de Amatitlán, por las descargas de aguas residuales sin tratamiento provenientes de la cuenca del Río Villalobos, evidencia la gravedad del tema.

La investigación sobre las causas y los efectos de la urbanización en el AM y las medidas a tomar deben promoverse entre los centros y universidades, ya que los estudios recientes del IARNA-URL y TNC, de la AMSA y la tesis de maestría en Hidrología del ingeniero Fuentes, han sido los primeros que evidencian los efectos de la urbanización en los recursos hídricos del AM.

9. Referencias

- AMSA (Julio de 2012). Estudio de Batimetría del Lago de Amatitlán y Arrastre de Sedimentos en el Río Villalobos. Elaborado por WESA Inc. (Canadá) y Asesoría Manuel Basterrechea Asociados, S. A. (Guatemala) para la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y el Lago de Amatitlán. Guatemala.
- CEPAL (2004). Informe de la Evaluación de los Daños Ocasionados por el Huracán Mitch (1998). Guatemala.
- CEPAL (2006). Informe con respecto a STAN (2005) e informe de SEGEPLAN (2010) con respecto a Agatha. Guatemala.
- FUENTES, Juan C. (2013). Impacto Hidrológico Asociado a la Urbanización en la Subcuenca del Río Villalobos, Guatemala. Tesis de Maestría en Hidrología Universidad de Costa Rica.
- IARNA-URL y TNC (2012a). Disponibilidad de Agua en la Región Metropolitana de Guatemala: Bases Fundamentales. Guatemala.
- IARNA-URL y TNC (2012b). Elementos de Análisis para Caracterizar el Estado y Estimar el Consumo de las Aguas Subterráneas en el Área Metropolitana de Guatemala. Guatemala.
- IARNA-URL y TNC (2013a). Análisis de la Demanda de Agua y Evaluación del Valor Ambiental de las Zo-

- nas de Recarga Hídrica en la zona Metropolitana de la Ciudad de Guatemala. Guatemala.
- IARNA-URL y TNC (2013b). Bases Técnicas para la Gestión del Agua con Visión de Largo Plazo en la Zona Metropolitana de Guatemala. Guatemala.
- MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL (Marzo de 2012). Diagnóstico Nacional de Salud. Guatemala.
- MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL (Junio de 2012). Información proveniente de Inventario de Sistemas de Agua trasladado a PROVIAGUA durante el Taller con Directores y Supervisores de Saneamiento de las Áreas de Salud. Guatemala.
- SAMPER, Olga (2008). Informe Final: Plan Estratégico del Sector Agua de Agua Potable y Saneamiento. Guatemala: Banco Interamericano de Desarrollo. Washington, D.C.

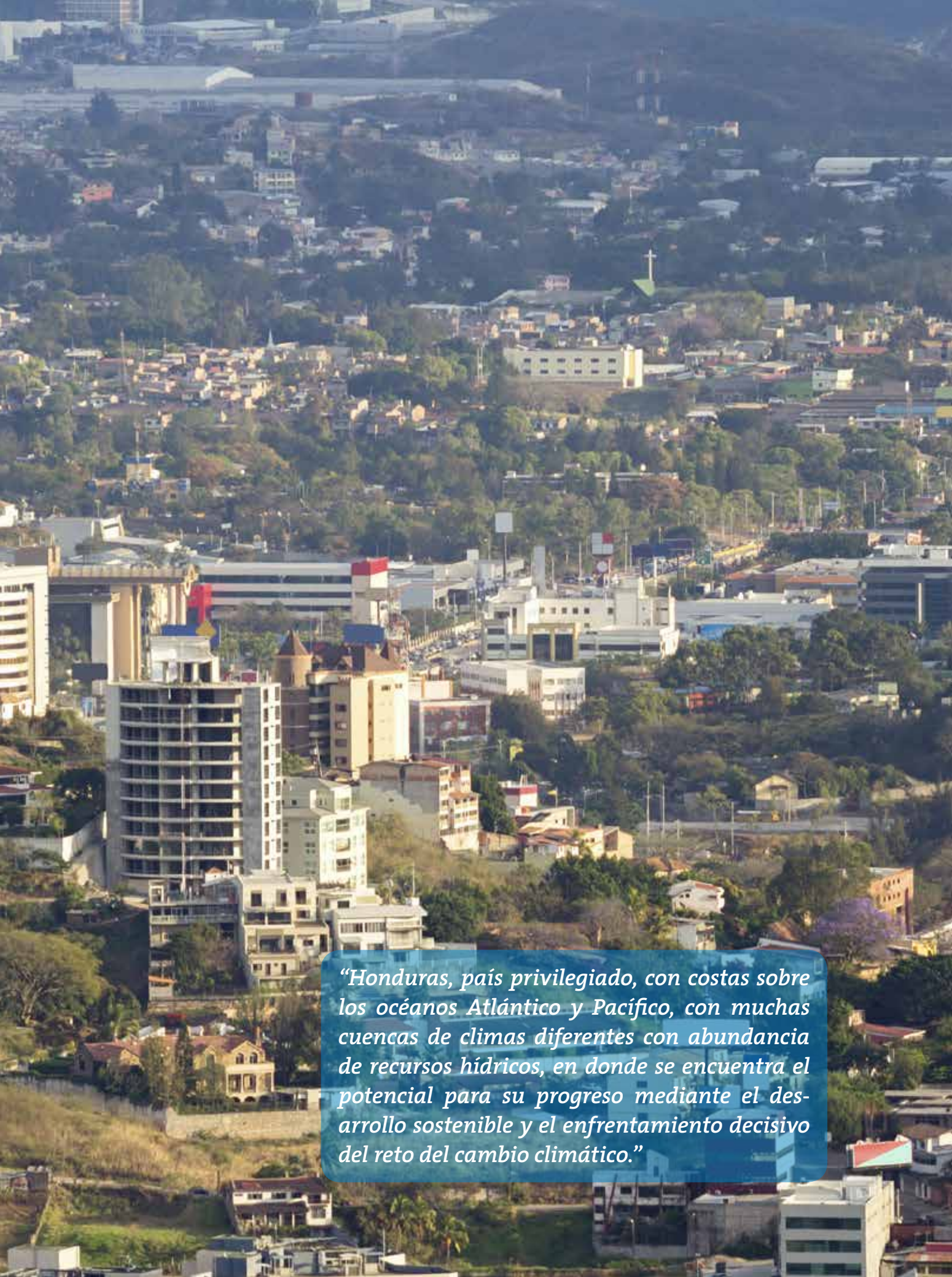
10. Acrónimos

AM	Área Metropolitana
AMSA	Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Amatitlán
EMPAGUA	Empresa Municipal de Agua de Guatemala
ENCOVI	Encuesta Nacional en Viviendas
FONCAGUA	Fondo para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala
IARNA	Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente
IGN	Instituto Geográfico Nacional
INE	Instituto Nacional de Estadística
MSPAS	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social
ODM	Objetivos del Milenio
OMS	Organización Mundial de la Salud
PROVIAGUA	Programa de Vigilancia de la Calidad del Agua
SEGEPLAN	Secretaría General de Planificación
SIGSA	Sistema de Información Gerencial en Salud
TNC	The Nature Conservancy
URL	Universidad Rafael Landívar

Honduras

An aerial photograph of Tegucigalpa, Honduras, showing a dense urban landscape. The city is built on a hillside, with a prominent white skyscraper in the center. The surrounding area is filled with residential buildings and greenery. The word "Honduras" is overlaid in large white text at the top.

Tegucigalpa, Honduras. Foto: ©iStock.com/edfuentesg.



“Honduras, país privilegiado, con costas sobre los océanos Atlántico y Pacífico, con muchas cuencas de climas diferentes con abundancia de recursos hídricos, en donde se encuentra el potencial para su progreso mediante el desarrollo sostenible y el enfrentamiento decisivo del reto del cambio climático.”

Gestión de las Aguas Urbanas en Honduras

Caso Tegucigalpa*

Marco Antonio Blair Chávez
Manuel Figueroa

Resumen

Honduras es un país privilegiado que posee costas en los océanos Atlántico y Pacífico, clima variado que varía desde tropical cálido húmedo en la costa del Atlántico hasta tropical templado seco en la zona central-occidental, y sabana tropical en la costa del Pacífico, con abundantes recursos hídricos irregularmente repartidos, pues la cuenca de la vertiente del Atlántico posee la mayor cantidad de ríos, lagos y lagunas.

No obstante tal privilegio de disponibilidad de recursos hídricos, el país enfrenta problemas serios de suministro de agua potable a la población, la cual presenta tres características importantes: 1) población muy joven (55% es menor de 25 años); 2) la población en el área rural es mayor, y 3) la población femenina es mayor.

La problemática del suministro de agua en la capital de Honduras se replica en el resto de las ciudades del país, con la excepción de la ciudad de San Pedro Sula, en donde el suministro de agua potable presenta buenos indicadores de calidad de servicio y calidad de producto que se refleja en el buen nivel de salud pública en general, y de la salud individual de la población en particular.

La influencia del cambio climático es notoria, lo que sumado a la acción del hombre con quemas frecuentes del bosque y la deforestación, ha provocado variabilidad sobre los recursos naturales como ser modificación en el patrón de lluvias, cambios extremos de temperatura, azolvamiento de cauces por efecto de arrastre de material erosionable e inundaciones frecuentes.

El Gobierno ha tomado acciones mediante la definición de estrategias y políticas para el aprovechamiento racional de los recursos, dando prioridad al agua declarándola un bien social y factor importante en la estrategia de combate para la reducción de la pobreza.

1. Introducción

La República de Honduras tiene una extensión superficial de 112 mil 492 km², e hidrológicamente se encuentra dividida en 22 cuencas hidrográficas, que drenan hacia dos vertientes: la vertiente Atlántico con 16 cuencas principales y la vertiente Pacífico con 6 cuencas hidrográficas. Cuenta con una población de 8,5 millones de habitantes donde aproximadamente 50% de la población vive en zonas urbanas. Hasta el año 1950 la población de las principales ciudades de Honduras era sólo 10% de la población actual. El crecimiento de la población ha implicado un rápido y desorganizado proceso de urbanización especialmente en Tegucigalpa, en donde ha tenido impactos sustanciales en la disponibilidad de agua para uso de las personas.

A pesar de que los recursos hídricos son abundantes, la infraestructura hídrica es muy limitada, pues la ejecución de nuevas obras para la incorporación de más fuentes de suministro de agua no ha crecido al mismo ritmo que la población, lo que origina una gran escasez de agua durante la estación seca provocando severos racionamientos en el sistema de servicio de agua, mientras que en la estación lluviosa, la ciudad es afectada por frecuentes inundaciones y deslizamientos. Además, la deforestación y la descontrolada invasión urbana en las cuencas cercanas al área Metropolitana amenazan la calidad del agua superficial y subterránea, a lo que se suma la falta de tratamiento de la mayor parte de las aguas residuales de la capital. Lo anterior está asociado también a debilidades en la gobernabilidad del recurso relacionadas a la falta de aplicación de la legislación relacionada a la temática, especialmente en lo que se refiere a las reformas institucionales.

La problemática de suministro de agua es especialmente una complicación en los barrios periféricos alrededor del Distrito Central, que se caracterizan por estar ubicados en terrenos inestables y accidentados sin acceso al sistema convencional de tuberías para suministro de agua. Esta problemática impacta negativamente en la calidad de vida de las poblaciones más desfavorecidas, reflejada en enfermedades, costos económicos y sociales, y degradación ambiental.

A pesar de los avances significativos en el sector Agua Potable y Saneamiento, las prácticas actuales de gestión del agua para la principal área urbana

de Honduras no alcanzan a resolver la problemática existente. Actualmente el país se esfuerza en hacer efectiva la Ley Marco de Sector de Agua Potable y Saneamiento promulgada en el año 2003 donde se establece el proceso de descentralización de los servicios de la empresa nacional Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA), así como La Ley General de Aguas que contempla la creación de la Autoridad Nacional del Agua.

En este documento se presenta un diagnóstico del estado de los recursos hídricos en las áreas urbanas, enfocado en la zona metropolitana del Distrito Central. Su contenido está distribuido en cinco capítulos, que abordan el proceso de urbanización, la situación del servicio de agua potable, el tratamiento de agua, el impacto en la salud humana y la variabilidad y cambio climático. La información contenida en cada uno de los capítulos fue recopilada a través del análisis y consulta de distintos estudios nacionales y regionales, así como información provista por las instituciones gubernamentales competentes.

La elaboración del presente documento ha sido posible gracias a la colaboración entre la Academia de Ciencias en Honduras y GWP Centroamérica, en un esfuerzo por contribuir a generar información relevante para establecer la situación de la gestión de las aguas urbanas, así como para la toma de decisiones respecto a las acciones requeridas para su uso y manejo sostenible.

2. Fuentes de agua en zonas urbanas y los impactos causados por la urbanización

El presente capítulo contiene un resumen diagnóstico de Tegucigalpa, la ciudad capital de Honduras, sobre las diferentes fuentes de agua, así como información sobre la calidad y cantidad de agua utilizada en la zona urbana correspondiente al Distrito Metropolitano. Así mismo, se estudian los problemas que surgen cuando la distribución de la población no corresponde con la disponibilidad de agua de las fuentes y los problemas críticos en zonas específicas como asentamientos informales y zonas periurbanas.

Las características físicas del Municipio del Distrito Central donde está ubicada Tegucigalpa, son mostradas en la siguiente tabla (INE, mayo de 2013; Wikipedia, mayo de 2013).

Tomando en cuenta la descripción de la División Administrativa, el Área Metropolitana del Distrito Central es una conurbación (INE, 2001), puesto que reúne las características propias de tal definición, a saber: “región que comprende ciudades, pueblos grandes, aldeas urbanas que a través del crecimiento poblacional y expansión espacial pueden o llegan a integrarse para formar un solo sistema.”

2.1 Servicio de agua potable en el Municipio del Distrito Central

Tegucigalpa y Comayagüela, al igual que la mayoría de las capitales latinoamericanas, posee un acelerado crecimiento de la población en su área metropolitana, que demanda de un incremento en la cobertura de los servicios básicos, incluyendo los servicios de agua y saneamiento.

De acuerdo con los datos del Censo de Población y Vivienda de 2001, y la Encuesta Permanente de Hogares para Propósitos Múltiples (EPHPM) 2013, ambos llevados a cabo por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), la población del área urbana de la ciudad capital hasta el año 2013, era 1,11 millones de habitantes, que corresponden a 13% de la población nacional, estimada en 8,5 millones de habitantes, caracterizándose por ser una población joven, puesto que 55% es menor de 25 años, tal como puede verse en la figura adjunta.

De conformidad con los registros del Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados

Tabla 1. Municipio del Distrito Central (M.D.C.)

1. División administrativa	2 Ciudades: Tegucigalpa y Comayagüela 44 Aldeas 291 Caseríos
2. Extensión territorial	1,514.6 km ²
3. Área urbana	150 km ²
4. Altitud media	1,100 masl
5. Población	Urbana: 1,101,900 Rural 100,900
6. Vivienda	Urbana: 249,945 Rural: 22,422

Fuente: Elaboración propia, con base en INE, mayo de 2013 y Wikipedia la Enciclopedia Libre, mayo de 2013.

(SANAA, 2014), en el área urbana del Distrito Central la institución provee el servicio de agua potable a 120 mil 204 usuarios, que representan casi 50% de la población urbana, distribuidos en 424 colonias y barrios. El SANAA brinda el servicio de forma racional, con interrupciones continuas por fallas en la red y limitantes de presión que obligan a labores especiales de operación para su control. Lo anterior está asociado también a limitantes en la disponibilidad del recurso agua.

Un gran sector de la población, principalmente de grupo peri-urbano, aproximadamente 38% de las viviendas se auto-abastecen mediante el uso de carros cisterna, que venden medidas unitarias de un barril, equivalente a 42 galones.

Tomando en cuenta la población actual, la demanda actual (2014) de agua para el Distrito Central es de 3.66 m³/s. Lo que significa un déficit teórico de agua en época de invierno de 0.37 m³/s y en verano de 1.92 m³/s. Sin embargo, tomando en cuenta el agua no contabilizada estimada en 45%, el déficit real es de 1.58 m³/s y 2.54 m³/s para ambas épocas respectivamente (SANAA, 1986).

La Figura 2 muestra la proyección de la demanda de agua hasta el año 2040, lo que demandará la incorporación de nuevas fuentes para proveer más de 600 mil m³/d.

2.2 Tipo de fuentes de suministro

El sistema de abastecimiento de agua de la ciudad capital está conformado por fuentes de agua superficial y por fuentes de agua subterránea, siendo predominantes las fuentes de agua superficial, con

Figura 1. Población por Rangos de Edad y Sexo

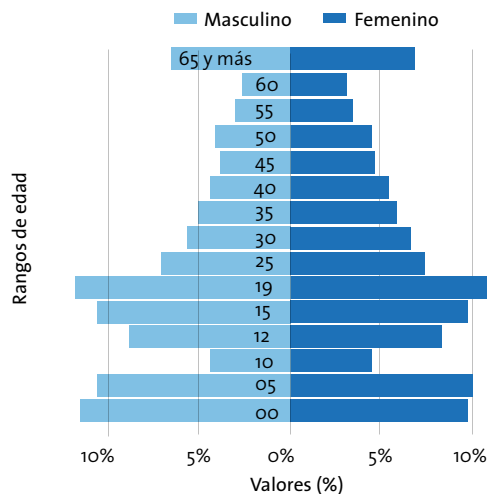
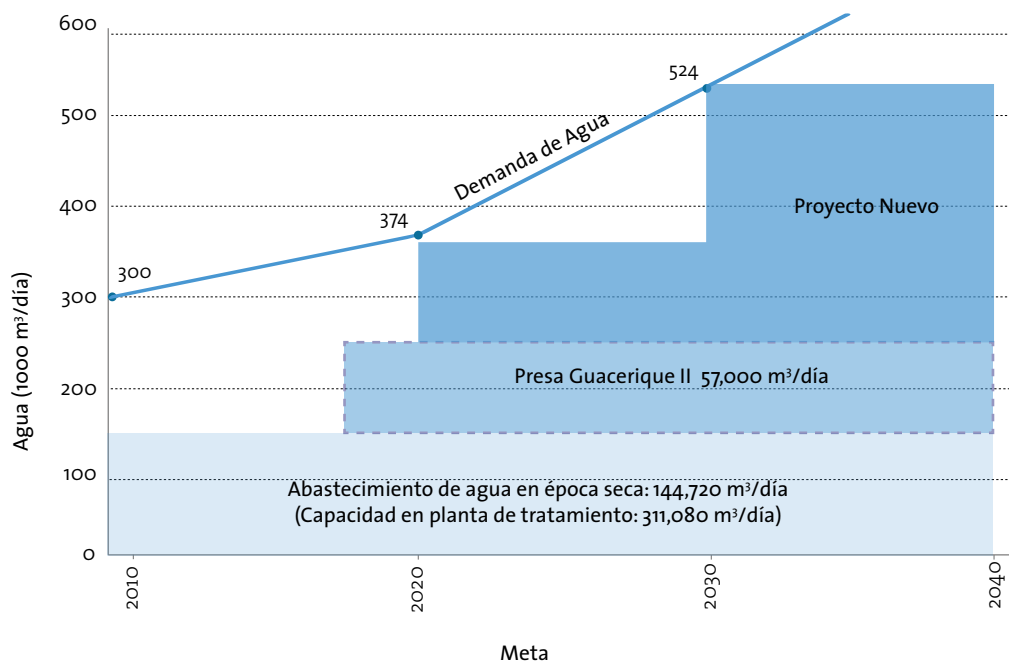


Figura 2. Proyección de demanda de agua Municipio del Distrito Central

Fuente: SANAA/KOICA, Tegucigalpa, 2012. Estudio de Factibilidad para la Construcción de Presa Guacerique II.

96% del total. En consecuencia, los sistemas son por gravedad.

Las fuentes de suministro actuales que constituyen la oferta de agua por parte del SANAA son mostradas en el siguiente cuadro (SANAA, 2014 y 1986).

2.3 Impacto de la urbanización

El desarrollo urbano es una de las causas principales por las cuales la cantidad y la calidad del agua son afectadas. Algunos de los impactos que genera la urbanización son la erosión y sedimentación, el escurrimiento urbano, basura contaminante y los derramamientos del drenaje, los que tienen un impacto directo en la calidad del agua.

El principal problema de la ciudad capital es que, de ser una pequeña ciudad, se convirtió en una ciudad grande, con el consecuente aumento de población a causa de la urbanización e industrialización. El agua presente en las cercanías de la ciudad ha sido afectada por el desarrollo de actividades industriales y comerciales, por lo que los recursos hídricos cercanos disponibles están reduciéndose o degradándose debido, entre otras causas, a la deforestación, los incendios forestales y descargas de aguas residuales.

La deforestación es provocada por la tala del bosque, la cual es en gran parte de carácter ilegal. Ésta es practicada para la explotación comercial de la madera, consumo de leña o para su conversión a tierras de cultivo, afectando enormes cantidades de bosque, con una tasa de deforestación de 62 mil Has/año (Suazo Bulnes, julio de 2010), y en el caso particular del Municipio del Distrito Central, la acción es para la construcción de nuevas áreas urbanas. En relación con los incendios forestales, que en su mayoría se considera son provocados, alcanzan promedios entre 400 y 650 incendios al año (*La Tribuna*, 2014) en todo el país y, de éstos, al menos 50 incendios tienen lugar en el Municipio del Distrito Central (*El Heraldo*, 2014).

Como resultado de lo anterior, las cuencas abastecedoras de agua de la capital están siendo degradadas, ocasionando el incremento del costo del desarrollo de nuevos abastecimientos de agua, debido a que las fuentes disponibles para explotación son cada vez más alejadas, y se requiere de mayores exigencias de tratamiento para su potabilización debido a problemas de calidad del agua.

Tabla 2. Fuentes de agua del SANAA para la ciudad capital

Fuente	Producción (m³/d)	
	Invierno	Verano
1. Fuentes superficiales	286,244	151,340
1.1 San Juancito-El Picacho	78,624	30,240
1.2 Embalse Concepción	129,600	95,040
1.3 Embalse Los Laureles	64,800	21,600
1.4 Tatumbla-Sabacuante-Miraflores	6,480	2,160
1.5 El Lindero	6,740	2,300
2. Fuentes subterráneas	12,960	8,986
2.1 Pozos varios	12,960	8,986
Total	299,204	160,326

Fuente: Elaboración propia, con base en SANAA, Departamento del Distrito Metropolitano, mayo de 2014.

2.4 Contaminación de las fuentes de agua

La descarga abierta o eliminación incorrecta de las aguas residuales urbanas e industriales, y la falta de tratamiento de las mismas, contribuye al deterioro de la calidad del agua en las fuentes potenciales para abastecimiento de agua potable. Éste es el caso del Municipio del Distrito Central, en donde la carga de aguas residuales es del orden de 260 mil m³/d, de los cuales únicamente se depura 22.7% que equivale a 59 mil m³/d. El resto de las aguas residuales es descargado libremente al Río Choluteca a través de sus diferentes tributarios: ríos, quebradas y cauces de invierno que atraviesan la ciudad. El problema es agravado porque existe una expansión constante del área urbana debido a la urbanización continua, la apertura de grandes centros comerciales y nuevas zonas industriales, que descargan a la red existente del servicio de alcantarillado sanitario, el cual sigue sin ser ampliado, por lo que, al exceder su capacidad, el sistema necesariamente descarga sus excedentes al ambiente en los puntos más frágiles y bajos.

La impermeabilización de las áreas urbanizadas por la pavimentación de calles y áreas de estacionamiento más las áreas de techos modifican de manera considerable la hidrología urbana, provocando volúmenes de escorrentías con picos más altos que provocan anegamiento de calles e inundaciones frecuentes.

Esta escorrentía instantánea con tiempos de concentración cortos se constituye en una de las

principales fuentes de contaminación no puntual, puesto que acarrea materia contaminante hacia los cauces. La práctica incorrecta e ilegal de conectar los sistemas de aguas negras con los sistemas de aguas lluvias hacen que los sistema trabajen con sobrecarga en la época lluviosa, provocando rebales de aguas negras hacia las calles. Estas aguas residuales son arrastradas con la basura y otra materia contaminante superficial, generando de esta manera un caldo concentrado muy contaminado que deteriora los cuerpos receptores naturales constituidos por los ríos, quebradas y cauces de invierno ubicados dentro del área urbana.

La limpieza de calles donde se utilizan los tragantes como depósitos de la basura recogida constituye otro de los problemas puntuales que agudizan el problema de contaminación, puesto que la basura depositada en los tragantes produce obstrucciones y revierte la basura arrastrada, junto con tierra y material granular. Debido a la geomorfología irregular de la ciudad capital, se producen inundaciones en las partes bajas de la ciudad con agua muy contaminada. Esta mala práctica conlleva a problemas de salud pública asociados con la contaminación ambiental, y a la pérdida de oportunidades recreativas y de turismo nacional e internacional.

2.5 Características del sistema de abastecimiento

Además del Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA), el servicio de su-

ministro de agua en el Municipio del Distrito Central también es brindado a través de Juntas Administradoras de Agua y mediante carros cisternas.

La División Metropolitana del SANAA es la encargada del acueducto metropolitano, y también es responsable del sistema de alcantarillado sanitario. Dentro del Municipio del Distrito Central existen 245 Juntas Administradoras registradas para operar legalmente, y se estima que existen unas 50 Juntas no registradas. En el caso de los carros cisterna, el SANAA posee unidades que brindan el servicio de agua a precios accesibles a aquellos usuarios que por cualquier razón tienen carencia del recurso, ya sea temporal o sistemáticamente. Existen aproximadamente 60 carros cisternas privados que se dedican a la venta de agua adquirida en las instalaciones que el SANAA tiene para tal propósito, y existe una cantidad similar que se aprovisiona de agua de otros proveedores privados. Estos camiones cisterna se dedican a cubrir la demanda de agua en los barrios en desarrollo, particularmente en aquellos donde no se cuenta o no existe red de suministro del SANAA.

El SANAA posee tres plantas potabilizadoras por lo que el agua que distribuye es de buena calidad y adecuada para el uso doméstico. Debido a las características del agua, los procesos unitarios en las tres plantas incluyen coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración para desinfección final, lo que la convierte en apta para el consumo humano.

Es de particular interés mencionar el caso del sistema El Picacho, el cual está constituido por 24 tomas de montaña, originalmente con agua de buena calidad. Sin embargo, el crecimiento poblacional en las inmediaciones de las tomas ha creado presión sobre la tierra en donde han crecido las actividades agrícolas, ganaderas y avícolas, llevando a la degradación de las micro-cuencas, afectando así la calidad del agua. De esta manera, la antigua planta potabilizadora que consistía en un sistema de cloración tuvo que ser reemplazada por una planta potabilizadora convencional de filtración rápida.

Para atender la demanda de agua de la población del Municipio del Distrito Central, el SANAA estableció en 1980 el Plan Maestro de Agua para Tegucigalpa con horizonte al año 2020 (SANAA, noviembre de 1980a), el cual contempla la construcción de cuatro embalses nuevos. Sin embargo, el Plan Maestro no ha sido ejecutado de acuerdo al cronograma de implementación recomendado, solamente se ha cons-

truido un embalse el cual fue incorporado al sistema en 1992, y desde esa fecha no ha sido incrementada la oferta de agua, por lo que el sistema existente está sometido a un constante racionamiento para poder atender la demanda en forma parcial, con suministros por zonas y horarios fijos.

2.6 Fuentes de agua disponibles

En su conjunto, las subcuencas cercanas a Tegucigalpa tienen una capacidad de producción de 225.4 millones de $m^3/año$. Las más grandes y de mayor capacidad son las subcuencas del Río del Hombre y Guacerique, localizadas al Oeste y Suroeste del Distrito Central, representando 77.2% de la oferta hídrica para la ciudad.

En la siguiente tabla se presenta el resumen de la oferta de agua por parte del SANAA de las principales fuentes que tiene actualmente en explotación.

El agua producida en las subcuencas son almacenadas en 4 subsistemas principales, provistos de: dos embalses con capacidad para almacenar 48 millones de metros cúbicos de agua denominados Los Laureles y Concepción, el subsistema El Picacho que capta 24 fuentes superficiales dentro del Parque Nacional La Tigra –en la montaña San Juancito– y el acueducto Miraflores conformado por las fuentes de los ríos Sabacuante y Tatumbla.

La oferta hídrica total del sistema de cuencas del Distrito Central ubicados al Sur-Este y Oeste de la capital se estima en $7.14 m^3/s$, de los cuales el SANAA explota actualmente un aproximado de $3.31 m^3/s$ en época lluviosa y $1.74 m^3/s$ en época seca.

2.7 Protección de las fuentes de agua

El SANAA posee un Departamento de Cuencas a través del cual se desarrollan las acciones pertinentes al manejo de las mismas. Entre las acciones que son llevadas a cabo se encuentra la vigilancia de descargas contaminantes dentro de las cabeceras de las cuencas para la rápida intervención de la autoridad competente para su solución; maniobras de prevención y combate de incendios y de tala ilegal dentro de la cuenca, particularmente en las zonas de reserva. Así mismo, se trata de controlar la expansión de la urbanización, la cual no debe alcanzar siquiera las áreas de amortiguamiento de la cuenca.

Tabla 3. Oferta hídrica de las principales fuentes de agua cercanas al Distrito Central

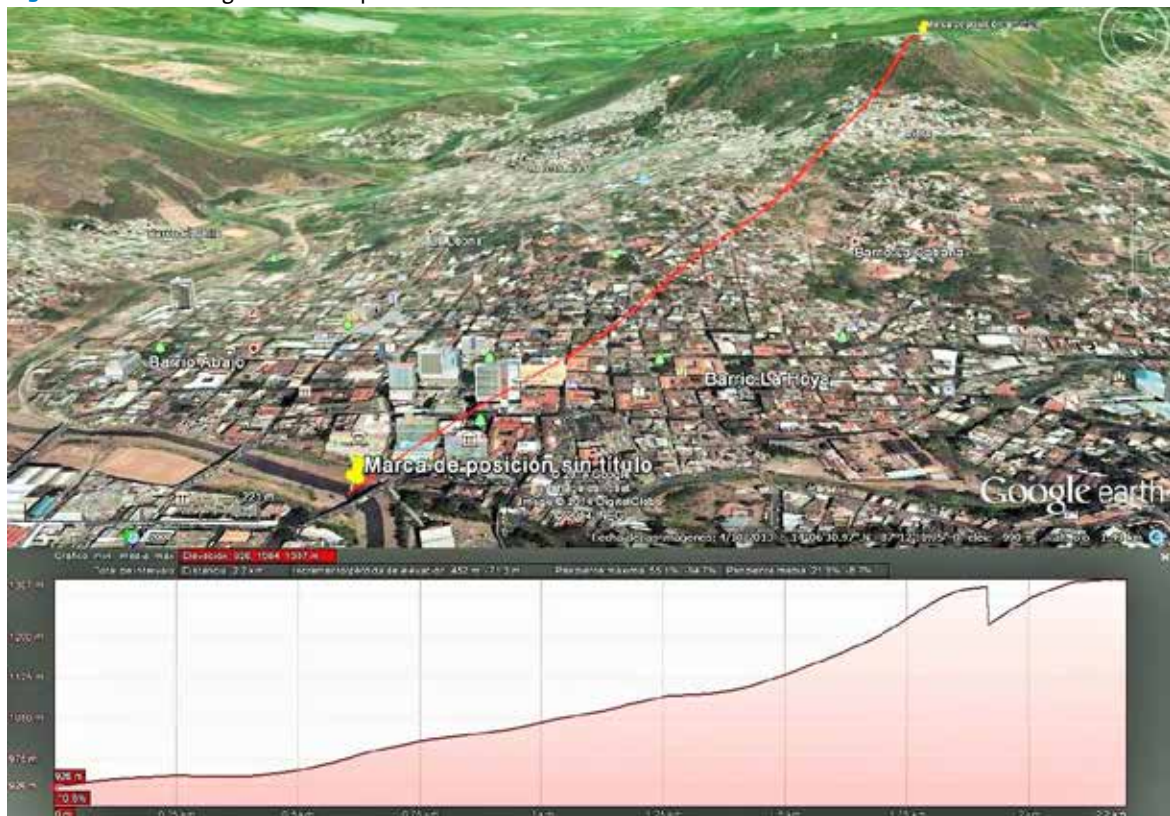
Nombre de la cuenca	Área (Km ²)	Producción (LPS)
Guacerique	Producción	2.66
Concepción	140.0	0.99
Sabacuante	80.0	0.27
Tatumbla	64.0	0.35
Río del Hombre	343.0	2.85
Totales	837.0	7.14

Fuente: Elaboración propia, con base en la Solicitud de Financiamiento para Ampliación y Mejoramiento del Sistema de Agua Potable de Tegucigalpa, Plan Maestro para Tegucigalpa, 1986.

Tabla 4. Red de distribución de agua del Distrito Central

Red de presión	Rango de presión (msnm)	
1. Red Baja	910	950
2. Red Media	950	990
3. Red Alta	990	1030
4. Red Superior I	1030	1070
5. Red Superior II	1070	1110
6. Red Superior III	1110	1150
7. Red Superior IV	1150	1190
8. Red Fuera de la Superior IV	1190	en adelante

Fuente: Elaboración propia, con base en la Solicitud de Financiamiento para Ampliación y Mejoramiento del Sistema de Agua Potable de Tegucigalpa, Plan Maestro para Tegucigalpa, 1986.

Figura 3. Geomorfología del Municipio del Distrito Central

El Plan Maestro del SANAA para Tegucigalpa también estableció el correspondiente Plan Maestro para el Alcantarillado Sanitario para Tegucigalpa, el cual contempla el desarrollo y ampliación de la red colectora y el tratamiento de las aguas residuales en 100% con el propósito de minimizar la contaminación de las fuentes de agua por las descargas directas, sin tratamiento alguno, a los ríos, quebradas y cauces naturales de invierno.

3. Servicio de agua potable en la zona urbana del Distrito Central

El Municipio del Distrito Central, donde está ubicada la capital de Honduras, posee una geomorfología compleja, de topografía muy irregular, con pendientes naturales muy fuertes, tal como se muestra en la figura compuesta de vista isométrica y perfil del área central de Tegucigalpa.

Como se muestra en el perfil, la ciudad presenta variaciones de altitudes desde 910 msnm en el centro de la ciudad hasta los 1,300 msnm en el Cerro el Picacho, ubicado a 1.7 km al NE de la ciudad.

Esa situación obliga a la búsqueda de soluciones adaptadas al contexto de la ciudad, y en el caso particular del sistema de abastecimiento de agua potable, la infraestructura del sistema ha sido diseñada de tal manera que se ajusta a esta variación tan elevada de altitudes. De esta manera, el sistema de distribución de agua del Distrito Metropolitano está conformado por ocho redes: siete de ellas son redes de presión y una red fuera de ellas. Cada red fue diseñada para soportar presiones hasta de 40 mca, y que se describen a continuación (ver tabla 4).

La evaluación del servicio, administración y regulación que determina el suministro y la disponibilidad del agua para la ciudad capital de Honduras que posee una densidad media de población elevada con una alta demanda de agua, es realizada en las siguientes secciones.

3.1 Administración de los sistemas

La administración de los sistemas para el suministro de agua a la población del área urbana del Distrito Metropolitano presenta muchos problemas debi-

do a la desigualdad de la densidad de su población y el alto contraste socioeconómico de la misma, como ser barrios en desarrollo con una alta densidad poblacional que presionan con una elevada demanda del recurso agua.

El Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA) es la institución oficial descentralizada del Gobierno Central, creada mediante el Decreto Legislativo N° 91 del 26 de abril de 1961, para construir y administrar los servicios de agua potable y alcantarillados en todo el ámbito territorial de Honduras (Congreso Nacional de Honduras, 1961).

La situación del crecimiento poblacional y la expansión urbana del Área Metropolitana del Distrito Central ha provocado un serio problema, puesto que el desarrollo de los proyectos de agua no guarda la misma dinámica que tiene la expansión urbana ni el incremento de población. En tal virtud, en la década de los años 80 y 90 surgió la modalidad de prestación de estos servicios por medio de Juntas Administradoras de Agua (JAA), como una vía para atender la demanda de los servicios de agua y saneamiento de las nuevas áreas urbanizadas de la ciudad.

Dado que el SANAA encontró un buen aliado en las comunidades, especialmente en los Barrios en Desarrollo, a través de estas JAA, apoyó este modelo de participación comunitaria brindándoles asistencia técnica y administrativa. Estas JAA sucedieron a los Patronatos de Barrios y Colonias en la gestión de tales servicios, habiéndose creado una estructura institucional regida mediante un Reglamento de Juntas de Agua impulsado por el SANAA (ERSAPS, julio de 2006).

La demanda de agua es tal y la oferta a la demanda es tan baja, que se ha dado una gran proliferación de Juntas de Agua, así como la venta ambulante de agua en camiones cisterna. Sin embargo, se reconoce que muchas de las Juntas Administradoras de Agua poseen una verdadera estructura institucional y cuentan con apoyo de ONG nacionales y extranjeras para el desarrollo de sus propias fuentes de suministro; en su mayoría son aguas subterráneas mediante pozo perforado, red de suministro y tanques de almacenamiento.

En el Área Metropolitana del Distrito Central, el SANAA sigue siendo la institución encargada de la administración de los servicios de agua y saneamiento, con la participación de una cantidad de 183 Juntas de Agua que operan, en su mayoría, en los

Barrios en Desarrollo. En las zonas más remotas y en las áreas periurbanas de difícil acceso, camiones cisternas del SANAA y de la Alcaldía Municipal del Distrito Central (AMDC) proveen de agua a los habitantes, mientras que una cantidad aproximada de 150 camiones cisterna privados venden agua sin discriminación del barrio, colonia o tipo de vivienda que lo solicita.

3.1.1 Modernización del sector

Mediante el Decreto Legislativo N° 118-2003 se creó La Ley Marco del Sector Agua Potable y su Reglamento (Congreso Nacional de Honduras, enero de 2004), para promover la prestación de los servicios de agua y saneamiento regidos bajo los principios de calidad, equidad, solidaridad, continuidad, generalidad, respeto ambiental y participación ciudadana. El objetivo general de la Ley Marco es establecer “las normas aplicables a los servicios de agua potable y saneamiento en el territorio nacional como un instrumento básico en la promoción de la calidad de vida en la población y afianzamiento del desarrollo sostenible como legado generacional.”

La Ley Marco establece la creación del Consejo Nacional de Agua y Saneamiento (CONASA) como representante oficial del Gobierno de Honduras en materia de agua potable y saneamiento nacional e internacionalmente, y fija las políticas, estrategias y planes nacionales del sector; asimismo, crea el Ente Regulador de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento (ERSAPS), como una institución desconcentrada, con independencia funcional, técnica y administrativa, con funciones de regulación y control de la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento dentro del territorio nacional.

Dentro del CONASA jerarquiza la responsabilidad de la administración de los sistemas de agua y saneamiento, reconociéndose a la Autoridad Municipal como la primera autoridad y luego a las Juntas Administradoras de Agua.

La Ley Marco y la Ley de Municipalidades establecen que la Autoridad Municipal puede ejercer directamente la administración de los servicios, o a través de un Ente Prestador de los Servicios Agua Potable y Saneamiento (EPS-APS), que es un ente municipal desconcentrado, en ambos casos es Municipalización de los Servicios; también puede delegar la administración en un ente privado mediante la Concesión de los Servicios. En este último tipo de

administración, los bienes e infraestructura siguen siendo propiedad de la Municipalidad. Finalmente, está la Junta Administradora que puede ejercer la administración directamente como una dependencia municipal o como unidad desconcentrada de la municipalidad. La Ley Marco no permite de ninguna manera y tampoco contempla la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento dentro del concepto de “privatización”.

Como parte del proceso de implementación de la Ley Marco, se propuso un plazo máximo de cinco años, a partir de la vigencia del Ley, para que el SANAA hiciese el traspaso de todos los sistemas bajo su administración a los gobiernos municipales, con el compromiso de apoyarlas en su organización técnica y administrativa según el modelo de administración que se escogiese por parte de la municipalidad particular. A la fecha, quedan pendientes de traspaso 27% de los sistemas, los que siguen siendo administrados por esa entidad, mientras que el resto son administrados por las municipalidades, unidades desconcentradas de la municipalidad y empresas municipales.

De esta manera, con la Ley Marco se regula el fortalecimiento del ordenamiento y la gobernabilidad en el sector de agua y saneamiento, ante la existencia de una gran cantidad de instituciones, entes nacionales y extranjeros que intervienen en el desarrollo de proyectos, con financiamiento local o externo.

En el año 2009 se aprobó la Ley General de Agua del país, la cual contempla la cuenca como unidad de manejo del recurso agua y contempla el establecimiento de los Consejos de Cuenca como instancias regionales de coordinación y concertación de acciones entre agentes públicos y privados que viven y gestionan una cuenca. Estas instancias tienen la finalidad de proponer, ejecutar programas y acciones para la mejor administración de las aguas, el desarrollo de la infraestructura hidráulica y la protección, conservación y preservación de los recursos hídricos de la cuenca.

3.1.2 Regulación de la institucionalidad

La Ley Marco establece la necesidad de readecuar el marco legal e institucional del sector agua potable y saneamiento, con el propósito de mejorar la planificación, regulación, control y prestación de los servicios, enmarcado en la política de descentralización del Estado, como parte de la modernización de sus

instituciones, asignando un papel protagónico a los gobiernos municipales y a la necesidad de contar con una amplia participación de los sectores sociales, lo que implica establecer mecanismos que propicien la participación conjunta de la autoridad municipal y de la ciudadanía (ERSAPS, mayo de 2013). Esta visión se cumple con la creación de la Comisión Municipal de Agua y Saneamiento (COMAS), con jurisdicción en todo el territorio del municipio.

Asimismo, la Ley Marco establece en forma clara que para el desempeño de sus funciones de control, el ERSAPS debe contar con el apoyo de las instancias regionales, municipales y la participación ciudadana en un claro reconocimiento al papel que la Ley otorga a los gobiernos municipales en la prestación de los servicios de agua y saneamiento y reconocimiento de las limitaciones que una instancia de carácter centralizado puede tener con respecto a una prestación de servicios de carácter netamente descentralizada. En tal virtud, el ERSAPS ha adoptado un modelo de control descentralizado, pero orientado y dirigido desde el nivel central, dando en los instrumentos regulatorios la latitud suficiente para que los municipios adopten y adapten los modelos de uso general en el país, a las condiciones particulares en cada uno de ellos (ERSAPS, septiembre de 2009). Esta visión se cumple con la creación de la Unidad de Supervisión y Control Local (USCL), con jurisdicción en todo el territorio del municipio.

- a. La COMAS, integrada por regidores municipales y representantes de los usuarios, constituye una instancia que asegura la participación genuina del Gobierno Municipal y de los sectores de la sociedad para la difusión y diálogo permanente en relación con los contenidos de los análisis sectoriales, políticas municipales de agua y saneamiento, programas de inversión y otros temas de importancia nacional que deben partir del análisis local de cada comunidad. La COMAS sirve además como un mecanismo de concertación de la autoridad municipal y la ciudadanía, para brindar asesoría a la corporación municipal y acompañar en la orientación a la ciudadanía en la toma de decisiones mediante la sociabilización de las mismas.
- b. La USCL tiene un directorio integrado por ciudadanos honorables del municipio y prestan sus servicios *ad-honorem*, integrándolo personas que puedan complementar con sus conoci-

mientos y experiencias las áreas fundamentales que deben verificarse para que se cumplan los aspectos sanitarios, legales y de atención de usuarios. Los directores no perciben honorarios, pero pueden ocasionar gastos para realizar su movilización y alojamiento en eventos de capacitación y de intercambio de experiencias.

La USCL posee en su consejo directivo un papel netamente ciudadano, por lo que requiere que exista una relación estrecha con el Comisionado Municipal a quien se le asignan funciones semejantes con carácter general en el municipio.

- c. La interrelación entre la COMAS y la USCL establece que la COMAS es una instancia que se constituye con carácter de asesoría para el Gobierno Municipal en los temas relacionados con las políticas, planificación y coordinación de las intervenciones relacionadas con el sector de agua y saneamiento, y en quien se delega la función de integrar el registro municipal de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales que se desempeñan dentro del ámbito municipal. Mientras tanto, la USCL debe mantener una relación estrecha y continua con la COMAS, ya que es la instancia a través de la cual se hacen llegar los informes de situación sectorial para conocimiento de la Corporación Municipal, convirtiéndose de esta manera en la fuente oficial, actualizada y permanente del conocimiento del Estado de la prestación de los servicios, de la identificación de los problemas que demandan acciones preventivas o correctivas de parte del prestador de los Servicios y que la COMAS debe considerar en sus propuestas de planificación sectorial a la Corporación Municipal. De esta manera, la USCL debe detectar las situaciones donde las desviaciones que se están presentando en el desempeño de las funciones del prestador que ameritan una intervención municipal para asegurarse que se lleven a cabo de conformidad con la Ley Marco, reglamentos, ordenanzas municipales y estatutos establecidos en la personalidad jurídica del prestador.

3.2 Cobertura del servicio

La accesibilidad al agua potable tiene un significado importante en la búsqueda de disminuir la frecuencia y riesgo de enfermedades asociadas a la contami-

En el caso del Municipio del Distrito Central está en proceso el traspaso de los sistemas por parte del SANAA a la AMDC, mismo que ha tomado su tiempo debido a la complejidad de los sistemas, tanto administrativa como operativa, tomando en cuenta que la División Administrativa del Área Metropolitana comprende dos ciudades grandes, con sus características propias. Esto incluye la formación del modelo de administración, el cual aún está por definirse, la creación de la COMAS y la USCL.

nación por elementos fecales. Además, proporciona información referente a desarrollo humano cuando se asocia a otros indicadores, sobre todo de tipo socioeconómico. Su análisis espacial permite advertir la equidad al acceso del servicio dentro de un territorio dado.

El acceso al agua en general, y al agua potable en particular, presenta aspectos bastante dramáticos en el Área Metropolitana del Distrito Central, debiendo establecerse distinción entre el acceso fácil y el no acceso al agua. En el acceso fácil al agua incluye a la persona que camina una distancia máxima diaria de 200 m para acarrear una cantidad básica de agua estimada en un barril, equivalente a 40 galones o 125 litros, independiente que sea potable o no; mientras que en el no acceso al agua, puede haber disponibilidad de agua en distancias mayores o menores, pero la persona no tiene acceso al recurso por diferentes circunstancias.

Debido a las variadas condiciones biofísicas, socio-económicas y socio-culturales, los escenarios de la cobertura del servicio de agua que se tienen en el Área Metropolitana del Distrito Central incluyen los siguientes sistemas.

3.2.1 Sistemas convencionales

En general, los sistemas convencionales enfocan a las conexiones domiciliarias, por medio de las cuales se permite el suministro de agua potable a cada vivienda o apartamento mediante conexión individual de la red municipal administrada por el SANAA. Este tipo de acceso permite a la persona la facilidad con comodidad en su vivienda y en forma directa el servicio de agua potable, es decir, agua con calidad y cantidad suficientes para consumo humano y para realizar sus actividades cotidianas como son asearse y lavar alimentos y objetos de uso personal.

3.2.2 Sistemas no convencionales

Dentro de los sistemas no convencionales se presentan las condiciones de acceso fácil al agua, las que se dan en las siguientes situaciones:

- a. Carros cisternas. El SANAA provee el servicio de suministro de agua a los barrios en desarrollo, en donde cuentan con tanque de almacenamiento y red, llenando el tanque el cual es operado por la Junta de Agua, desde donde se suministra por gravedad a las viviendas conectadas. También provee agua a viviendas de personas muy pobres pero que disponen de algún tipo de recipiente o pila donde pueden almacenar al menos una pequeña cantidad de agua.
- b. Bancos de llaves públicas. Los bancos de llaves públicas existentes aún en algunos barrios en desarrollo, brindan servicio con agua de la red municipal administrada por el SANAA, lo que indica que es agua de buena calidad.

Los bancos de llaves públicas funcionan como centros de acopio, en donde existe una persona que custodia la llave de acceso a las llaves, y operan en horarios establecidos en consenso por la misma comunidad de vecinos.

En épocas de crisis, el Cuerpo de Bomberos y camiones del Gobierno y de la AMDC brindan apoyo en la distribución de agua al sector más pobre de la población. Como el agua que proveen es tomada de la red municipal de SANAA, se considera que el agua suministrada es de buena calidad.

- c. Venta libre de agua. Una flotilla de camiones "acondicionados" en forma artesanal con cisternas, pertenecientes a personas dedicadas a la venta ambulante de agua, proveen agua a todo tipo de vivienda ubicada en cualquier barrio o colonia, aunque la mayoría de los clientes son los habitantes de barrios en desarrollo ubicados

en la periferia de la ciudad, donde no existe red de suministro de agua.

La venta de agua a los habitantes de los barrios pobres se realiza utilizando el barril como medida unitaria, mientras que a las viviendas de mejor estrato social se les vende el contenido total de la cisterna.

El costo promedio del barril es de US\$ 2.14, mientras que el costo promedio de una cisterna de 400 a 600 galones es US\$ 35.71.

- d. Finalmente, existe un segmento de la población totalmente desposeída que no tiene forma alguna de acceso al agua y acude a los ríos o quebradas, e independientemente de la calidad del agua en el cauce, hacen uso de la misma. En algunos casos, estas personas aprovechan las lluvias para recolectar agua en recipientes, constituyendo ésta un paliativo durante la época de lluvias.

En la siguiente tabla se proporciona un resumen de la situación del suministro de agua en función del acceso al recurso por parte de la población.

De acuerdo con el cuadro anterior, mediante el cruce de información del INE y del SANAA, constituidas ambas en fuentes oficiales de información, se encuentra que la cobertura del servicio de agua potable es de 53.2% respecto de la totalidad de las viviendas registradas con base en la EPHPM de mayo de 2013.

En los registros del SANAA se encuentra que en el Área Metropolitanas se cuenta con 120 mil 204 abonados, es decir, viviendas con conexión domiciliar individual.

Al analizar la información de ambas instituciones se encuentra que la cobertura que el SANAA divulga, en términos de porcentaje, se refiere a los usuarios que posee dentro del área de servicio, es decir, del total de sus abonados, 80.9% posee conexión directa en su vivienda, mientras que 19.1% es atendido a través de los sistemas no convencionales. En realidad, el tema de la cobertura tiene diferentes interpretaciones, pero la realidad surge al tomar en cuenta las cifras de los censos del INE y los registros del SANAA.

Por otro lado, a nivel nacional la cobertura es más optimista, puesto que la ciudad de San Pedro Sula, junto con la ciudad de Puerto Cortés, posee índices de cobertura elevados que incrementan su promedio a valores cercanos a 80%.

3.3 Gastos de cobertura

El costo per cápita que genera la prestación del servicio de acuerdo con el grado de cobertura no establece una relación diferencial en función del nivel económico del cliente; únicamente considera cuatro categorías en función del uso y consumo del agua, aplicando tan solo la regla simple “quien consume más, debe pagar más”.

Tabla 5. Acceso al agua en el Municipio del Distrito Central

Descripción del proveedor	Abonados		
	Parciales	Cantidad	%
Servicio Municipal SANAA		120,204	
Conexiones directas (80.9 %)	97,263		38.9
Conexiones indirectas (19.1 %)	22,941		9.2
Carros cisterna		7,687	3.1
Banco de llaves públicas		744	0.3
Otro medios		4,215	1.7
Total de viviendas con acceso		132,850	53.2
Total de viviendas en el área urbana		249,946	

Fuente: Elaboración con base en SANAA, Departamento Comercial, junio de 2014.

Tabla 6. Acceso al agua en el Municipio del Distrito Central

Servicio Autónoma Nacional de Acueductos y Alcantarillados SANAA, Departamento Comercial, Tarifa aprobada, diciembre 2009							
Categoría doméstica	Rango m ³ / mes	Consumo de agua mínimo por segmento Lps / mes	Tarifa 2003 Lps m ³ / mes	Tarifa 2010 Lps m ³ / mes	Variación	Costo fijo por conexión	Ejemplos de cálculo Categoría doméstica por segmento
Segmento 1	0-20	31.80	0.85	1.59	0.74	Exentos	Para un consumo de 20m³ Segmento 1 Rango de (0-20) Lps. 1.59 cada m ³ Agua Potable 20m ³ x L 1.59 = L 31.80 Alcantarillado sanitario L 31.80 x 25% = L 7.95 Mantenimiento de medidor = L 1.50 Costo fijo por conexión (exentos) L 0.00 Total a pagar L 41.25
	21-30		1.70	3.17	1.47		
	31-40		5.20	5.23	0.03		
	41-50		6.80	9.10	2.30		
	51-55		8.50	12.92	4.42		
	56 y más		12.90	16.11	3.21		
Segmento 2	0-20	65.60	0.85	3.28	2.43	25.00	Para un consumo de 25m³ Segmento 2 Rango de (21-30) Lps. 4.05 cada m ³ Agua Potable 25m ³ x L 4.05 = L 101.25 Alcantarillado sanitario L 101.25 x 25% = L 25.31 Mantenimiento de medidor = L 1.50 Costo fijo por conexión L 25.00 Total a pagar L 153.06
	21-30		1.70	4.05	2.35		
	31-40		5.20	6.18	0.98		
	41-50		6.80	10.54	3.74		
	51-55		8.50	13.12	4.62		
	56 y más		12.90	16.79	3.89		
Segmento 3	0-20	88.40	0.85	4.42	3.57	70.00	Para un consumo de 35m³ Segmento 3 Rango de (31-40) Lps. 7.37 cada m ³ Agua Potable 35m ³ x L 7.37 = L 257.95 Alcantarillado sanitario L 257.95 x 25% = L 64.49 Mantenimiento de medidor = L 1.50 Costo fijo por conexión L 70.00 Total a pagar L 393.94
	21-30		1.70	5.23	3.53		
	31-40		5.20	7.37	2.17		
	41-50		6.80	11.40	4.60		
	51-55		8.50	14.42	5.92		
	56 y más		12.90	18.24	5.34		
Segmento 4	0-20	141.60	0.85	7.08	6.23	150.00	Para un consumo de 50m³ Segmento 4 Rango de (41-50) Lps. 13.58 cada m ³ Agua Potable 50m ³ x L 13.58 = L 679.00 Alcantarillado sanitario L 679.00 x 25% = L 169.75 Mantenimiento de medidor = L 1.50 Costo fijo por conexión L 150.00 Total a pagar L 1,000.25
	21-30		1.70	8.90	7.20		
	31-40		5.20	10.93	5.73		
	41-50		6.80	13.58	6.78		
	51-55		8.50	16.86	8.36		
	56 y más		12.90	19.42	6.52		
Categoría comercial	0-20	119.00	5.50	5.95	0.45	175.00	
	21-30		6.00	7.96	1.96		
	31-40		8.00	12.17	4.17		
	41-50		9.00	16.03	7.03		
	51 y más		12.00	22.48	10.48		
Categoría industrial	0-20	299.60	9.00	14.98	5.98	250.00	
	21-40		12.00	19.67	7.67		
	41 y más		16.00	29.12	13.12		
Categoría gobierno	0-20	299.60	9.00	14.98	5.98	150.00	
	21-40		12.00	19.67	7.67		
	41 y más		16.00	29.12	13.12		
Categoría patronatos y juntas de agua	0-40	116.00	1.00	2.90	1.90	Exentos	
	41 y más		1.40	2.90	1.50		

Para cálculo del valor a facturar mensualmente, adicional al valor del agua se suma lo siguiente: 1) alcantarillado sanitario se cobra de acuerdo al 25% sobre el valor de la factura de agua, 2) mantenimiento del medidor se cobra Lps 1.50 por mes, cuando existe medidor; 3) Costo fijo de conexión, aplicable a cada segmento, publicado en el Diario Oficial la Gaceta el 17 de septiembre de 2007.

Fuente: SANAA, Departamento Comercial, junio de 2014.

Las categorías de consumo son las siguientes:

1. Doméstica
2. Comercial
3. Industrial
4. Gubernamental
5. Patronatos y Juntas de Agua

La categoría doméstica comprende cuatro segmentos que aplican según el nivel residencial, a saber:

- a. Segmento 1, que aplica a la población de barrios en desarrollo; el costo de la cuota básica de agua de 20 m³ es la más barata y están exentos del pago del costo fijo por conexión.
- b. Segmento 2, que aplica a la población media baja; el costo de la cuota básica de agua de 20 m³ es 106.2% mayor que el costo del Segmento 1, y el pago del costo fijo por conexión es US\$ 1.19 al mes.
- c. Segmento 3, que aplica a la población media alta; el costo de la cuota básica de agua de 20 m³ es 178% mayor que el costo del Segmento 1, y el pago del costo fijo por conexión es US\$ 3.33 al mes.
- d. Segmento 4, que aplica a la población de condición social alta; el costo de la cuota básica de agua de 20 m³ es 345% mayor que el costo del Segmento 1, y el pago del costo fijo por conexión es US\$ 7.14 al mes.

No obstante que el costo de producción de agua de buena calidad no diferencia ni discrimina si el suministro centralizado está destinado para la clase alta, clase media o pobre, para uso en fuentes públicas o

vendedores ambulantes que transportan el agua en camiones cisterna para la venta aun para la clase privilegiada que sufre la misma incomodidad del racionamiento y de la falta de agua, tal diferenciación sí es considerada en la estructura tarifaria, tal como puede verse en la tabla de la Tarifa vigente del SANAA aprobada para 2010, mostrada en la tabla siguiente.

Analizando los ejemplos del pago de un mes de servicio incluidos por el SANAA en la tabla de Tarifas, y replicando ese cálculo para cada segmento considerando solamente el consumo de la cantidad básica de agua, se encuentra que los valores a pagar serían los siguientes:

- | | |
|---------------|------------------------|
| a. Segmento 1 | L. 41.25 (US\$ 1.96) |
| b. Segmento 2 | L. 108.50 (US\$ 5.16) |
| c. Segmento 3 | L. 182.00 (US\$ 8.67) |
| d. Segmento 4 | L. 328.50 (US\$ 15.65) |

En el cuadro que a continuación se incluye, se proporciona un resumen de la factura comercial del SANAA, en donde se refleja los conceptos que integran la facturación para cada una de las cuatro categorías de consumo que atiende esa institución. No se incluye la categoría Patronatos y Juntas de Agua.

Tomando en cuenta la cantidad de usuarios por categoría, se encuentra que el costo de producción por categoría varía desde US\$ 14.57 por usuario doméstico hasta US\$ 1,055.52 por usuario de Gobierno.

Comparando el costo unitario anterior de US\$ 14.57.98, con los costos calculados para el consumo de la misma cantidad de agua, en los cuatro segmentos de categoría doméstica, se encuentra que única-

Tabla 7. Facturación comercial del SANAA

Concepto	Facturación por Categoría de Consumo (US\$)			
	Doméstica	Comercial	Industrial	Gobierno
1. Clientes	41,777	4,633	319	578
2. Consumo (m ³)	54,819.76	15,418.90	1,515.81	16,841.62
3. Consumo agua (L.)	372,041.76	304,773.00	42,103.27	487,094.48
4. Alcantarillado	91,996.27	75,996.66	10,582.09	118,657.79
5. Mantenimiento medidor	1,983.29	296.93	15.14	41.29
6. Descuento jubilado	13,132.85	3.57		
7. Costo fijo	96,914.76	38,608.33	3,797.62	4,128.57
8. Intereses por mora	32,651.47	26,570.82	5,317.34	170.74
9. Valor factura	608,720.40	446,249.31	61,819.46	610,092.87
Costo por Cliente	14.57	96.32	193.79	1,055.52

Fuente: Elaboración con base en SANAA, Departamento Comercial, junio de 2014

mente los clientes del Segmento 4 cubren el costo del servicio de la factura comercial. Para el resto de los clientes, el costo del servicio es menor, lo que provoca un déficit en la factura comercial (SANAA, 2013).

Evaluando el costo para las categorías comercial, industrial y gubernamental, sobre la base del consumo de 20 m³, se encuentra que los valores que deberían pagar son US\$ 15.49, US\$ 29.77 y US\$ 25.05, respectivamente. Comparando estos últimos valores con los calculados en el cuadro anterior, se refleja un subsidio exagerado para los consumidores de esas tres categorías.

3.4 Tipología del suministro

En el caso particular del Área Metropolitana del Distrito Central la tipología del sistema de abastecimiento de agua está influenciado y determinado en función de su geomorfología, tal como se ha descrito anteriormente. Adicionalmente, de acuerdo con las investigaciones realizadas por el SANAA acerca de la existencia de aguas subterráneas, en cantidad adecuadas para su explotación comercial, para el suministro de agua a la población es extremadamente baja. No obstante tal limitante, existen Juntas de Agua que poseen pequeños sistemas descentralizados cuyas fuentes de toma son aguas subterráneas mediante pozos perforados y equipados con sus bombas respectivas.

3.5 Mecanismos organizacionales para proveer el servicio (Ley Marco, Honduras)¹

De acuerdo con la Ley Marco, el plazo establecido para la transferencia de los servicios dio lugar a la búsqueda y generación de los nuevos modelos organizacionales para la prestación de los servicios, entre los cuales se encuentran la municipalización, la concesión y las juntas de agua, mencionadas anteriormente.

El modelo que prevalece es el Ente Proveedor de Servicios de Agua Potable y Saneamiento (EPS-AS) como unidad municipal desconcentrada, con amplia tercerización de los servicios administrativos como lo son vigilancia, entre otros, y algunos servicios de operación y mantenimiento (Secretaría de Finanzas, marzo de 2011).

En el caso del Distrito Central, el SANAA sigue siendo el ente proveedor de los servicios mientras se concreta el proceso de transferencia de los sistemas que administra, cuya gestión aún está en proceso.

3.6 Características del servicio

Las características de los servicios en términos de continuidad, calidad de agua, presión, fugas de la red de agua potable, entre otras, han sido evaluadas por el ERSAPS, cuyo modelo con algunos valores son mostrados en la siguiente tabla.

Para efectos de ilustración parcial del modelo del ERSAPS se han seleccionado únicamente seis indicadores elementales que pueden apoyar la evaluación de la gestión del servicio (Secretaría de Finanzas, marzo de 2011).

3.7 Uso del agua

El uso del agua en el Área Metropolitana del Distrito Central abarca las categorías como a continuación se describe:

- Uso doméstico. Destinado al consumo residencial.
- Uso comercial. Destinado al consumo de centros comerciales, almacenes, hoteles, restaurantes, oficinas públicas, centros de estudios académicos, centros de negocios, entre otros.
- Uso industrial. Destinado al consumo de centros de producción industrial metalmecánica y no metalmecánica. El agua suministrada requerida y suministrada para los centros agroindustriales debe satisfacer las mismas características del agua para consumo residencial. Sin embargo, en algunos centros industriales de metalmecánica se hace uso de agua de buena calidad para el tipo de industria, pero no necesariamente de las mismas características para consumo residencial, excepto la destinada para el personal. No existe el reciclado de agua.

No existe el reciclado de agua para uso industrial, y únicamente se cuenta con una planta de tratamiento de aguas negras del SANAA que descarga al río un volumen de aguas residuales, estimado en 30%, de la población ubicada en la zona Sur de la ciudad.

1. Ley Marco Sector Agua Potable y Saneamiento

Tabla 8. Indicadores de caracterización de agua potable

Descripción	Cantidad	Fuente
1. Calidad de agua potable y residual. Muestras mensuales. <ul style="list-style-type: none"> • Agua potabilizada analizadas • Aguas residuales depuradas analizadas • Agua potabilizada que satisfacen la norma • Aguas residuales depuradas que satisfacen la norma 	329 154 328 133	2013, planta potabilizadora 2014, planta de tratamiento 271 análisis físico-químico; 328 análisis bacteriológico 2014, planta de tratamiento
2. Calidad del servicio. Registro mensual. <ul style="list-style-type: none"> • Reclamos por falta de agua • Reclamos por cobro incorrecto del servicio • Reclamos por fallas del sistema de alcantarillado 	340 1,300 250	2011, SANAA, Informe interno 2011, SANAA, Informe interno 2011, SANAA, Informe interno
3. Facturación mensual, US\$, cobranza e ingresos <ul style="list-style-type: none"> • Ingreso por servicio de agua potable • Ingreso por servicio de conservación de fuentes de agua • Ingreso por servicio de alcantarillado sanitario 	158,730.16 0.00 808,333.30	2013, SANAA, Informe interno 2013, SANAA, Informe interno 2013, SANAA, Informe interno
4. Personal <ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de empleados en agua potable • Cantidad de empleados en alcantarillado sanitario 	2,116 634	2014 Recursos Humanos SANAA 2014 Recursos Humanos SANAA
5. Incidencia de fallas <ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de fallas sistema de agua potable/mes • Acciones correctivas en agua potable/mes • Longitud de tubería de agua potable, Km • Cantidad de fallas en el sistema de alcantarillado sanitario/mes • Acciones correctivas alcantarillado sanitario/mes • Longitud de tubería de alcantarillado sanitario, Km 	372 504 3,000 511 511 486	2013, Mantenimiento SANAA 2013, Mantenimiento SANAA 2013, Mantenimiento SANAA 2011, SANAA, Informe interno 2011, SANAA, Informe interno 2011, SANAA, Informe interno

Fuente: Elaboración con base en SEFIN/BM/ERSAPS, Manual para la identificación e implementación de acciones de tercerización, marzo de 2011. Tegucigalpa.

d. Uso público. Destinado al consumo de centros cívicos de gobierno, oficinas públicas, hospitales, centros penitenciarios, cuarteles militares y policiales, entre otros. El agua requerida es suministrada a través de la red municipal del SANAA, por lo que es agua de buena calidad, es decir, cumple con las mismas características que el agua para consumo residencial.

En Honduras no existe regulación alguna sobre el empleo de accesorios ahorradores de agua o de bajo consumo. El Ministerio de Salud promueve el empleo de unidades sanitarias de bajo costo, aunque no son de carácter ahorrativo de agua. En general, el Ministerio de Salud y el SANAA solamente promueven campañas, no continuas, sobre el ahorro del agua.

El SANAA establece prohibiciones sobre el derroche del agua, imponiendo sanciones que van desde multas hasta la suspensión del servicio para el usuario que incumple las prohibiciones, entre las cuales están: no usar manguera para el riego de áreas ver-

des, lavado de pisos y paredes de las casas, ni para el lavado de vehículos.

3.8 Problemas

El problema permanente relacionado con el abastecimiento de agua, para la población conectada a la red municipal del SANAA, está relacionado con el racionamiento del suministro del agua, el cual se agudiza en la época de verano. La situación es mayor en los barrios peri-urbanos y en las zonas altas de la ciudad donde el agua no llega por problemas de presión en la red.

A lo anterior se asocia la falta de infraestructura hídrica que impide atender la demanda de agua de la creciente población de la ciudad. Hay propuestas de nuevas presas en las fuentes abastecedoras de agua de la capital, pero aún no se concreta la construcción de algunas de ellas, debido principalmente al elevado financiamiento que demanda la magnitud de las obras requeridas.

4. Tratamiento de agua en ciudades

La demanda de agua de buena calidad en las ciudades grandes con alta densidad poblacional genera la necesidad de introducir el tratamiento del agua para uso de las actividades humanas, especialmente las destinadas al uso doméstico que pueden incluir el uso residencial y comercial. Dentro de este contexto, el tratamiento de agua para su potabilización considera una serie de procesos unitarios que deben culminar con el proceso final de desinfección para que el agua sea segura para consumo humano.

4.1 Cobertura de tratamiento para potabilizar el agua

La cobertura del tratamiento para la potabilización del agua de la red municipal administrada por el SANAA, es de 100%. La red está conformada por cinco subsistemas, cada uno provisto con su propia planta potabilizadora (ver Tabla 9).

Las fuentes de aguas subterráneas reciben cloración en línea, y en el Centro El Lindero se aplica cloración en el tanque, el cual funciona como tanque de contacto.

En las colonias o barrios que no son abastecidos por el SANAA, existen soluciones individuales que pueden provenir tanto de fuentes superficiales como subterráneas. El principal uso es de carácter doméstico; sin embargo, recurren a la compra de agua embotellada para el consumo humano con la finalidad de asegurar que consumen agua de buena calidad.

4.2 Cobertura de tratamiento según nivel económico

En la red municipal administrada por el SANAA, la cobertura del tratamiento para la potabilización del

agua es general y no existe diferencia alguna por nivel económico de la población a ser servida; en resumen, los costos por este concepto quedan automáticamente incluidos en la tarifa.

De igual manera, el agua distribuida a través de la red tampoco diferencia la condición económica del usuario, mismo que puede pertenecer al sector residencial o comercial, industrial o sector público y gubernamental, indistintamente de los insumos utilizados para los procesos de potabilización del agua distribuida.

4.3 Costo de sistemas de tratamiento (gasto por cápita)

Tal como se ha mencionado en los capítulos anteriores, el SANAA administra los sistemas municipales de agua potable y alcantarillado sanitario del Distrito Central, los cuales son los más grandes en cuanto a extensión y los más complejos debido a la geomorfología de la ciudad.

En ambos sistemas se cuenta con plantas de tratamiento que implican costos de operación y mantenimiento, por lo que se hace necesario analizar ambos casos por separado.

4.3.1 Potabilización del agua

Las plantas de tratamiento para la potabilización del agua son sistemas convencionales que incluyen los procesos unitarios de coagulación, floculación y desinfección en los cuales se requiere el uso de insumos químicos.

De acuerdo con la calidad del agua, las fuentes del Centro de Distribución El Picacho son las que menos insumos requieren, sin embargo, el SANAA establece, en forma resumida, que el costo promedio diario del tratamiento de agua para la potabilización es de L. 0.50 (US\$ 0.024) por habitante, lo que representa un costo promedio total de L. 258,439.00 (US\$ 12,307) diarios para la población conectada al sistema.

4.3.2 Depuración de aguas residuales

El tema relacionado con las plantas de tratamiento para aguas residuales aparece mejor explicado en el Acápite 4.51, y bajo esa óptica se analiza el aspecto relacionado con el costo de la depuración de aguas residuales por parte del SANAA.

Las plantas de tratamiento para la depuración de las aguas residuales de un sector del sistema de

Tabla 9. Plantas potabilizadoras del sistema SANAA

Sub-sistema	Tipo de Planta	Capacidad (LPS)	
		Mínimo	Máximo
1. Concepción	Filtración rápida	1,100	1,500
2. El Picacho	Filtración rápida	350	910
3. Los Laureles	Filtración rápida	250	750
4. Miraflores	Filtración rápida	25	75

Fuente: Elaboración con base en SANAA, División Metropolitana, junio de 2014.

alcantarillado sanitario de la ciudad capital son aerobias, siendo el oxígeno el único insumo que se requiere para su operación. El costo promedio diario estimado por el SANAA, en forma resumida por la depuración de las aguas residuales, es de L. 0.37 (US\$ 0.018) por habitante, lo que representa un costo promedio total de L. 92,500.00 (US\$ 4,405) diarios para la población conectada al sistema.

4.4 Reúso del agua

Dentro del Área Metropolitana del Distrito Central no existe el reúso del agua residual por parte de instituciones del Estado.

Existen algunos casos aislados de fábricas que poseen sistemas de depuración de aguas residuales cuyos efluentes líquidos son utilizados para el riego de áreas verdes.

4.5 Tratamiento de aguas grises

La elevada demanda de agua en un espacio reducido de las ciudades con alta densidad de población puede encontrar solución en las elevadas cantidades de **agua usada** a las que puede aplicárseles tratamiento para su re-utilización o simplemente brindar una depuración para su reintegración al ecosistema.

4.5.1 Procesos de tratamiento

El proceso de tratamiento de las aguas residuales puede comprender dos etapas: la primera corresponde a un proceso de depuración, que es el más común; y, la segunda, a un proceso de tratamiento, cuando se prevé un uso posterior del agua que involucre cualquier actividad humana.

- a. **La depuración de aguas residuales.** La acción de la depuración está orientada a la reducción de los valores de carga contaminante a los niveles de valores típicos que se encuentran en las aguas dulces o aguas frescas en la naturaleza, para su reintegración al ecosistema sin peligro de contaminación, conociéndosele como plantas depuradoras de aguas residuales (PDAR). Por ejemplo, los valores típicos de la DBO₅ en las aguas superficiales de ríos, lagos y lagunas suele ser 30 mg/l, y se ha comprobado que con valores hasta 50 mg/l de DBO₅; de igual manera, el contenido de grasas y aceites en ríos y lagos es cero mg/l, entre otros.

En Honduras se cuenta con las “Normas Técnicas de las Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores y Alcantarillado Sanitario”, que regulan los valores de los efluentes líquidos de las PDAR desde 1997.

El contenido de nutrientes como el nitrógeno orgánico y amoniacal, sulfatos y fosfatos, entre otros, es deseable en las aguas naturales, porque ayudan en el crecimiento de árboles y de la flora en general. Estos elementos nutrientes se encuentran en elevadas concentraciones de las aguas residuales, por lo que mediante los procesos depurativos son reducidos a los valores que no son dañinos al ambiente, pero son beneficiosos para la flora. Las Normas Técnicas de las Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores y Alcantarillado Sanitario de Honduras establecen los valores límites para las descargas a cuerpos receptores (Ministerio de Salud, 1997).

Los procesos de depuración suelen incluir el pre-tratamiento o tratamiento preliminar, tratamiento primario y tratamiento secundario, siendo este flujograma el de más uso en el Área Metropolitana del Distrito Central.

- b. **El tratamiento de aguas residuales.** Se aplica cuando se introduce un proceso de tratamiento terciario con el propósito de acondicionar el agua depurada a la condición de fuente apta para suministro de agua para uso doméstico.

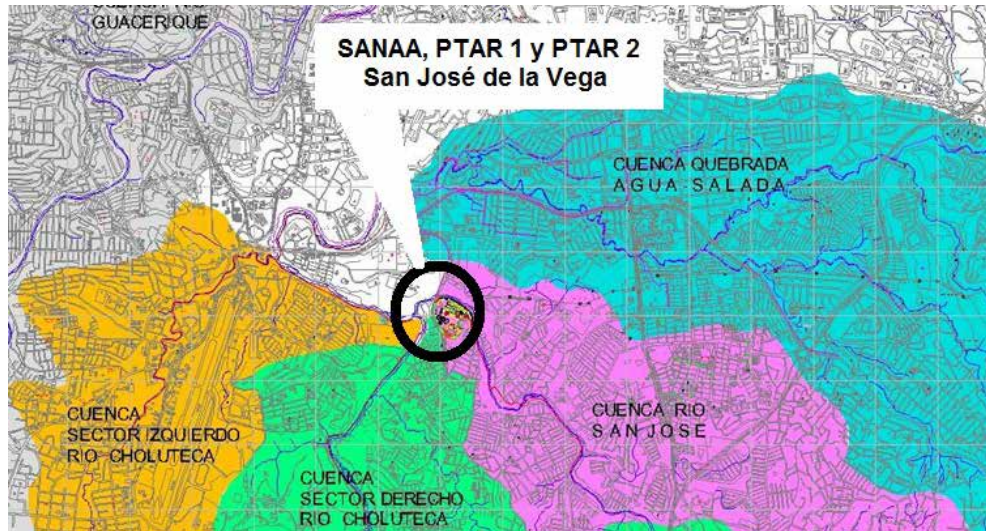
En esta etapa puede agregarse una planta potabilizadora para producir agua para las actividades humanas que incluyen el uso residencial, comercial e industrial. Este tipo de tratamiento aún no tiene aplicación en Honduras.

4.5.2 Acciones en el Distrito Central

Dentro del Plan Maestro del Alcantarillado de Tegucigalpa, D.C. (SANAA, noviembre de 1980b), se contempló la construcción de dos plantas depuradoras de aguas residuales (PDAR), con capacidades dispuestas para manejar 25 y 75%, la PTAR 1 y la PTAR 2, respectivamente.

La PTAR 1 se planeó en forma estratégica para ser construida en el sector de Las Vegas, donde actualmente el SANAA instaló dos PTAR, con el propósito de tratar la mayor cantidad del volumen de aguas residuales generado por la población ubicada en el sector Sur del Área Metropolitana del Distrito

Figura 4. Área de Cobertura PTAR 1 y PTAR 2



Central, y que representa 30% del volumen total de toda la población del área urbana del Distrito Central, tal como se muestra en la figura adjunta (Villafranca *et al.*, 2009).

Actualmente, el SANAA opera dos PDAR que en su conjunto manejan un volumen diario de aguas residuales estimado en 50 mil m³ que aporta una población estimada en 250 mil habitantes. La población ubicada en el área de influencia es del orden de 380 mil habitantes, por lo que queda una importante cantidad de aguas residuales que no son depuradas.

En el sector privado existen varias colonias que poseen plantas pequeñas de depuración de aguas residuales, pero debido a la mala operación y mantenimiento tales plantas han colapsado convirtiéndose en focos de contaminación ambiental.

4.6 Reintegración del agua al ambiente o ecosistemas

La principal aplicación de los efluentes de las PDAR del SANAA instaladas en el Sector de La Vega es la reintegración del volumen arriba indicado, al Río Choluteca, con los siguientes propósitos:

- Establecer un caudal base ecológico en el Río Choluteca para preservar dos condiciones principales de agua fresca o agua dulce incolora e inodora. El caudal del río se ha reducido por influencia de los embalses construidos aguas arriba, en la parte cabecera de la cuenca.

- Reducir el grado de contaminación mediante dilución del elevado contenido de aguas residuales, y facilitar la excelente capacidad de autodepuración del Río Choluteca debido a su pendiente pronunciada que le provee la velocidad adecuada para lograrlo.
- Velar por la salud pública de la ciudad capital, mediante la eliminación de los olores desagradables que suelen emanar debido a la condición de septicidad que puede alcanzar el agua del río en los días más drásticos del verano.
- Reducir contaminación que puede propagarse a través de las quebradas y ríos que cruzan la ciudad, cuyas aguas son utilizadas por un sector de la población, especialmente la ubicada a las orillas de los cauces.

5. El agua y la salud en Honduras

El agua, factor vital para la salud humana, también es un vehículo de enfermedad y muerte. En Honduras ocurren los dos extremos: por un lado hay escasez de agua, tanto en la zona urbana como rural, y por otro lado hay tiempos de inundaciones causados por huracanes y tormentas tropicales. Tanto la escasez como la abundancia afectan la salud de los hondureños.

Esto se vuelve más dramático en las grandes ciudades como Tegucigalpa y San Pedro Sula; la primera

con 1.11 millones de habitantes y la segunda con 677 mil (INE, 2013). Ambas ciudades han experimentado un rápido incremento poblacional en los últimos 50 años debido a la inmigración del campo a la ciudad, en la búsqueda de mejores condiciones de vida.

Tegucigalpa, situada entre cerros en el interior del país, es la ciudad más desorganizada y menos preparada para esa oleada humana, a la cual hay que proveer agua, alimentación, salud, vivienda, educación, transporte, entre otros. Cada año la ciudad aumenta al ritmo de 100 mil nuevos pobladores (Alcaldía Municipal del Distrito Central, 2013), la mayor parte sin medios de subsistencia, construyendo viviendas tipificadas como chozas en los cerros donde se carece de agua, saneamiento y calles. La ciudad tiene casi 900 barrios y colonias, de los cuales más de 400 son el resultado de invasiones urbanas (*El Heraldo*, 14 de mayo de 2014).

En el caso particular del Área Metropolitana del Distrito Central se identifican dos grandes ríos que cruzan el área urbana: el Río Grande o Choluteca y el Río Chiquito, y más de diez quebradas tributarias que lo alimentan y que pasan por numerosos barrios y colonias ubicadas, principalmente, en las partes altas de la ciudad. En la parte cabecera del Río Choluteca, en el extremo Sur, dos ríos importantes tributan al Río Choluteca: el Río San José o Jacaleapa y el Río Guacerique.

Ante la demanda creciente de agua por parte de la población, especialmente la de menores recursos económicos, suelen hacer uso de las aguas de estos ríos fuertemente contaminados.

El Río Choluteca pasa por el centro de la ciudad y sirve de línea divisoria entre Tegucigalpa y Comayagüela. El río está terriblemente contaminado debido a las descargas de aguas negras que recibe a lo largo de su trayectoria por la ciudad, en forma directa o a través de las rupturas de los subcolectores de aguas negras del SANAA que, en su mayoría, han colapsado. Los mercados principales de la ciudad están localizados a inmediaciones de la orilla de la margen izquierda del río. Debido a la elevada carga contaminante de las descargas de aguas residuales que recibe, el río alcanza la condición de total septicidad, es decir, el contenido de oxígeno disuelto es nulo, por lo que está desprovisto de vida acuática. En tiempo de inundaciones, el río ha traído enfermedad y muerte a miles de los pobladores (Rivera, 1967). Por ejemplo, durante el Huracán Mitch (1989) gran parte del área

comercial de la ciudad de Comayagüela, incluyendo los mercados, quedó bajo 3 metros de agua. Adicionalmente, el sistema de alcantarillado de las zonas bajas de la ciudad quedó colapsado.

La ciudad cuenta con dos presas de regulación: Concepción y Los Laureles, las cuales almacenan el agua de los ríos Concepción y Guacerique. El agua de estas presas es potabilizada antes de ser distribuida en la ciudad. Fuera de esos reservorios hay otra fuente importante de agua para la ciudad que viene de la Montaña San Juancito, específicamente del Parque Nacional La Tigra. El Parque Nacional La Tigra es un bosque húmedo con admirable biodiversidad y mediante el Centro de Distribución El Picacho suple de agua a una parte de la Red Alta y de las Redes Superiores de la ciudad.

5.1 Situación en los barrios en desarrollo

¿Qué hacen los habitantes de los barrios ubicados en los cerros donde no llega el agua potable ni hay alcantarillado? Para estas personas el agua es un líquido precioso por el cual hay que pagar precios exorbitantes a los vendedores que circulan en carros cisterna. Aunque el SANAA distribuye agua una vez a la semana en tiempos de verano, resulta imposible cubrir todos los barrios. Las personas deben, en todo caso, reservar el agua para lo esencial: baño al menos una vez a la semana y el lavado de manos antes de las comidas se convierte en un lujo. Como en muchas casas no hay saneamiento aunque sea con letrinas, la suciedad es arrastrada por la lluvia a los barrios de más abajo, contaminando las calles antes de llegar a la quebrada más cercana.

5.1.1 Morbilidad

Las consecuencias para la salud son evidentes. Las diarreas infantiles son la principal causa de muerte en los niños menores de 5 años. El parasitismo intestinal, incluyendo la amebiasis, es común en la niñez y aun en los adultos. El virus de la Hepatitis A se adquiere desde los primeros años de vida, pasando desapercibido en la mayor parte de los casos. Afortunadamente la poliomielitis ha sido controlada mediante la vacunación de los niños, pero antes del año 1989, cuando se informó del último caso, se transmitía frecuentemente por el agua contaminada (Rivera, 1967). Lo mismo sucedió con el cólera en los años 1991 a 1995 (Burdeth, 1995).

Se ha realizado varios estudios en la Universidad Nacional Autónoma de Honduras sobre las causas de las diarreas infantiles. La mayor parte apunta a la contaminación del agua y de los alimentos, a la falta de higiene al preparar alimentación de los bebés y a la falta de agua para lavarse las manos antes de comer, todo ello influenciado fuertemente por la pobreza, el hacinamiento y la marginalidad. Como no hay suficiente agua en las llaves la gente tiende a almacenar agua en pilas o barriles y allí se crían las larvas de mosquitos transmisores de enfermedades tropicales como el dengue.

5.1.2 Mortalidad

La tasa de mortalidad en Honduras es de 19.85 por mil nacimientos (Secretaría de Salud, 2013) y es indudable que la contaminación del agua es uno de los principales factores que inciden en dicha mortalidad.

Entre las bacterias causantes de diarreas se mencionan en los diversos estudios, *Salmonella*, *Shigella*, las cepas toxigénicas de *Escherichia coli* (Figuerroa, 1990). A finales del siglo pasado hubo además una epidemia de *Vibrio cholera*, que recorrió todo Centroamérica y causó mucha mortalidad, transmitida primordialmente por el agua contaminada.

Entre los parásitos transmitidos por el agua se encuentra con frecuencia *Giardia lamblia*; entre los virus predomina Rotavirus como principal causante de diarrea en niños menores de cuatro años.

En la ciudad, la gente prefiere beber agua embotellada o embolsada y hay varias compañías que se dedican al negocio de vender agua purificada. El control que periódicamente realiza el Laboratorio de Contaminantes del Ministerio de Salud parece indicar que la calidad es aceptable; sin embargo, es de notar que el exterior de las bolsas no está limpio y que hay que romper las bolsas con los dientes o aun con las uñas, presentándose allí la posibilidad de contaminación.

5.1.3 Inundaciones y tormentas

Como consecuencia de los huracanes y tormentas tropicales, el dengue y la malaria proliferan en las zonas inundadas causando enfermedad y muerte. Las lluvias dejan charcos y lagunas en donde proliferan los mosquitos *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*, vectores transmisores del dengue. En 2013 se presentaron 29 mil 500 casos de fiebre por el dengue con 26 muertes por dengue hemorrágico (Secretaría de Sa-

lud, 2013). Naturalmente, las ciudades más afectadas son Tegucigalpa y San Pedro Sula, que son las que poseen mayor densidad poblacional. Los casos de malaria, transmitida por mosquitos del género *Anopheles*, también suelen aumentar después del azote de las tormentas y huracanes. Esporádicamente se presentaron casos de leptospirosis, que es una enfermedad infecciosa que afecta el hígado y es transmitida por el agua contaminada con la orina de las ratas (Secretaría de Salud, 2010).

5.2 Otros contaminantes

En cuanto a los contaminantes químicos puede afirmarse que tienen poca relevancia tanto en Tegucigalpa, debido a que hay muy pocas fábricas, como en la agricultura, que se hace a pequeña escala. La contaminación del Río Choluteca se debe principalmente a la materia orgánica procedente de las alcantarillas de la ciudad. La descomposición de la materia orgánica por algas y bacterias causa la pérdida de oxígeno del agua y, por consiguiente, la muerte de los peces y otros seres acuáticos.

En los años 40 y 50 del siglo pasado se usó extensamente el DDT en la campaña de erradicación de la malaria, e indudablemente hubo contaminación del agua. La campaña fue exitosa en todo el país, pero cuando se conoció del posible efecto cancerígeno se discontinuó el programa. Otros posibles contaminantes químicos que pueden llegar al agua son los PCB procedentes de fluidos hidráulicos, refrigerantes, transformadores y pinturas. Más recientemente, el litio de las baterías desechadas y los radioisótopos usados en la medicina pueden eventualmente llegar al agua. Con todo se puede decir que la contaminación química del agua de Tegucigalpa es todavía de bajo nivel.

Se ha planteado el impacto en la salud de la contaminación del agua en zonas urbanas de las dos principales ciudades de Honduras. Probablemente el mismo problema se presenta en otras ciudades y pueblos de Honduras. Puede decirse que la salud pública mejoraría 50% si se lograra mejorar la cantidad y calidad del agua que consumen los habitantes y si se lograra disminuir el daño que provocan las inundaciones. El mejoramiento de la calidad de agua permitiría disminuir significativamente el gasto en hospitales y medicinas, y por ende mejoraría la calidad de vida de los habitantes.

La solución al problema del agua en las áreas urbanas está íntimamente asociada e interrelacionada con otros problemas sociales, por ejemplo, la falta de un desarrollo económico sostenible, el crecimiento descontrolado de la población –Honduras crece 2.1% anual, uno de los más altos índices de América–, la acelerada deforestación que causa la pérdida de las fuentes de agua, el cambio climático y aumento progresivo de la temperatura promedio provocado por el desarrollo de los países del norte, y finalmente la falta de planificación de los gobiernos nacionales y locales sobre todo en las áreas urbanas de gran desarrollo.

6. Variabilidad y cambio climático

Antes de entrar al análisis del impacto de la variabilidad y cambio climático en el recurso agua en ciudades, con atención directa al caso de estudio que es el Área Metropolitana del Distrito Central, se hace una revisión sobre los conceptos básicos del cambio climático y los elementos asociados.

6.1 Cambio climático²

Se llama **cambio climático** a la modificación del clima con respecto a su historial en una escala global o regional. Estos cambios se producen a diversas escalas de tiempo y sobre todos los parámetros climáticos, y puede ser debido, en teoría, a causas naturales (Croles y North, 1988) o antropogénicas (Oreskes, 2001).

Los estudios sobre el clima demuestran que un cambio constante del clima ha existido por causas naturales que se le denomina **variabilidad natural del clima**, pero se ha dado el cambio influenciado por el hombre –**cambio climático antropogénico**.

La referencia anterior de las Naciones Unidas refleja que se le da mayor énfasis al cambio climático antropogénico, y suele usarse la terminología de manera poco apropiada para referirse a los cambios climáticos como sinónimo de calentamiento global.

El cambio climático ha aumentado y continuará aumentando la vulnerabilidad de las ciudades, tal como lo ha demostrado la capital de Honduras. Por lo tanto, se requieren medidas especiales en las

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático usa el término ‘cambio climático’ para referirse al cambio por causas humanas, o sea, “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables”

zonas urbanas para el uso eficiente de los recursos de agua, como son: evitar el impacto en la calidad, tratamiento de aguas residuales, introducir más proyectos para reúso del agua, aprovechamiento de esorrentía, entre otros.

6.2 Ciudades en zonas secas y cómo organizar el suministro

Los ecosistemas de las tierras o zonas secas se caracterizan por una falta de agua.³ Water shortage limits the production of crops, forage, wood and other ecosystem services.

La escasez de agua limita la producción de cultivos, forraje, madera y otros servicios de los ecosistemas.

Dentro de las tierras secas existen cuatro subtipos comúnmente aceptados: **zonas subhúmedas secas, semiáridas, áridas e hiperáridas**, con un grado creciente de aridez o déficit de humedad.

El Distrito Central está ubicado en la zona central de Honduras, a una altitud media de 1,100 msnm, y de acuerdo con la definición anterior, está fuera de ser clasificada como zona seca.

Por su ubicación espacial y por su altitud posee clima de llamado Sabana Tropical.⁴ Este tipo de clima presenta dos estaciones: una estación seca que comienza en enero y termina en abril, siendo febrero el mes más seco, y una estación lluviosa que inicia el mes de mayo y finaliza en octubre.

En la estación lluviosa se presenta un período corto, entre los meses de julio y agosto, durante el cual deja de llover y aflora un lapso seco. Este periodo dura normalmente un mes y es conocido como “la canícula”.⁵

3. <http://www.greenfacts.org/es/glosario/tuv/tierras-secas.htm>

4. <http://www.xplorhonduras.com/clima-de-honduras/>

5. *Ibidem*

2. INE, diciembre de 2010.

Debido a este comportamiento, el sistema de abastecimiento de agua del Distrito Central, planificado, administrado y operado por la autoridad del agua –el SANAA–, descansa 69% en dos embalses de regulación: Concepción y Los Laureles, actualmente en funcionamiento, y tres a ser construidos en un plazo estimado de 25 años, es decir, al año horizonte 2040.

6.3 Problemas de aguas pluviales e inundaciones

El patrón de lluvias es uno de los factores climáticos que ha sido más alterado por el cambio climático, provocando serios problemas en las ciudades grandes. Como resultado, los sistemas de drenaje para aguas pluviales son los más afectados debido al aumento de la incidencia y la intensidad de la precipitación.

El aumento de las precipitaciones intensas y huracanes más potentes, más frecuentes y severos pueden causar inundaciones fluviales y costeras, y sobrepasar las defensas de la ciudad, en caso de que existan, o demostrar la alta vulnerabilidad ciudadana. Aunque la relación entre estos eventos y el cambio climático no se ha demostrado, las inundaciones y destrucciones que provocó el Huracán Mitch en Tegucigalpa y Comayagüela en 1998, pueden servir como un recordatorio del impacto catastrófico como consecuencia de los eventos climáticos extremos en las zonas urbanas y la sociedad en general.

6.3.1 Inundaciones en las ciudades

Con el aumento de la frecuencia e intensidad de la lluvia, los niveles de escorrentía superficial pueden exceder la capacidad de los tragantes de entrada del agua lluvia al sistema de drenaje, o causar desbordes en combinación con los sistemas de alcantarillado de aguas negras. Estos desbordes pueden causar inundaciones en las calles, con los peligros de salud asociados debido a la contaminación, pero también puede aumentar el costo de cumplir con los requisitos reglamentarios relacionados.

Los desbordes de las alcantarillas de aguas negras constituyen un problema vinculado a las conexiones cruzadas que suelen realizar de manera malintencionada los constructores de viviendas de los sistemas cloacales de las vivienda al sistema de drenaje urbano, y de los drenajes de los techos y patios internos de las vivienda al sistema de descarga cloacal de la vivienda al sistema de la red municipal del alcantarillado sanitario.

- a. Este cruce de conexiones ilegales, más la práctica de utilizar los tragantes de agua lluvia como depósitos públicos de basura, afectan enormemente el área urbana del Distrito Central, pues la cantidad de agua lluvia fluyendo por ambos sistemas más la escorrentía superficial en las calles provocan inundaciones por desbordamientos, más frecuentes ahora, en la época de lluvia. Adicionalmente, las fuertes lluvias acumulan una enorme cantidad de basura combinada con aguas residuales sin tratar, que al final descargan en los ríos que cruzan la ciudad.
- b. El costo que causa esta periodicidad del problema de inundaciones urbanas es estimado por la autoridad en función de la participación de los cuerpos de socorro, la atención a la población afectada, las reparaciones en infraestructura dañada, entre otros.
- c. Las acciones más inmediatas para evitar esta ocurrencia sistemática de inundaciones en el Distrito Central pueden incluir:
 - Llevar a cabo un programa intenso de limpieza de tragantes, pozos de inspección y cabezales de descarga del sistema de drenaje pluvial.
 - Llevar un control de supervisión rigurosa en todas las construcciones urbanas con el propósito de controlar las conexiones ilegales y clandestinas cruzadas entre los sistemas de alcantarillado sanitario y drenaje pluvial por parte de los constructores.
 - Establecer mecanismos de vigilancia e incentivos o penalidades, según sea el caso, para evitar el uso de los tragantes pluviales como depósitos públicos de basura. Un programa de educación sanitaria al nivel escolar primario y secundario sería conveniente para formar a los futuros ciudadanos en la nueva cultura de los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos.

6.3.2 Nuevas soluciones en ciudades

Ante la severidad que presenta el cambio climático en los problemas de inundaciones en las zonas urbanas, es necesario orientar los esfuerzos de las estrategias al manejo del agua pluvial como política del aspecto de administración del agua urbana.

La infraestructura para la gestión actual del agua requiere de soluciones prácticas e inmediatas

para enfrentar los cambios de circunstancias, puesto que las proyecciones del cambio climático muestran que la variabilidad puede cambiar los requisitos de capacidad en forma regional o durante el año. La es-cogencia de sistemas sostenibles para la gestión del agua en zonas urbanas diseñados para enfrentar condiciones variables e impredecibles, parece ser la mejor respuesta para el planteamiento de nuevas soluciones urbanas, y lograr la implementación de opciones flexibles y a menudo descentralizadas, y tecnologías que toman en cuenta una serie de escenarios futuros.

Un sistema flexible se caracteriza por su habilidad para adaptarse a los cambios de requerimientos según la exigencia. Por ejemplo, las respuestas posibles de un sistema flexible a las condiciones cambiantes serían la atenuación de la escorrentía a través del uso de opciones de Sistemas Sostenibles de Drenaje Urbano, como son:

- Techos verdes
- - Pavimento poroso
- - Canales engramados
- - Cosecha de agua de lluvia
- - Estanques de detención
- - Depresiones de retención

El diseño de un sistema flexible y la elección de opciones y tecnologías pueden y deben ser facilitados a través del proceso de planificación estratégica.

6.3.3 Descentralización y centralización

La flexibilidad de los sistemas urbanos de agua no convencionales está relacionada a menudo con sus soluciones descentralizadas. La descentralización disminuye la vulnerabilidad mediante la difusión de los riesgos; de hecho, es fácil entender el mayor riesgo que enfrenta una ciudad dependiendo de una o más plantas de tratamiento grandes de aguas residuales frente a una ciudad que opera varios sistemas de tratamiento natural a pequeña escala ubicados en diferentes áreas.

Además, las soluciones descentralizadas son a menudo más rápido de instalar y más rentable para construir y mantener. Estas consideraciones son especialmente importantes de cara a las condiciones cambiantes, lo que puede facilitar las grandes inversiones en nuevas instalaciones de tratamiento o ser redundante en infraestructura de abastecimiento de agua.

Los sistemas condominiales para los sistemas de alcantarillado sanitario constituyen la más reciente innovación en materia de sistemas descentralizados (Mendoza, 1999). Con estos sistemas se ha introducido innovación en los criterios de diseño, se elimina el límite de distancia máxima entre dos pozos de registro, se innovan dispositivos para la construcción de singularidades en las redes que incluye tubo de inspección y limpieza, caja de paso y terminal de limpieza.

a. Las principales ventajas del alcantarillado condominial:

- Costo de excavación menor, debido a profundidades pequeñas de las alcantarillas condominiales.
- Costo menor del material del alcantarillado condominial, es menos extenso.
- Costo menor por pozos de registro, se requiere menos cantidad de pozos de registro convencionales.
- Mayor cantidad de cajas de paso en reemplazo a los pozos de registro tradicionales.
- Costo menor de las conexiones domiciliarias debido a que las profundidades son menores y la extensión de las conexiones es reducida.
- Mayor facilidad de ejecución de las conexiones domiciliarias, aun para las casas vecinas pared con pared.
- Hay una mayor utilización de materiales regionales en la construcción del alcantarillado condominial y conexiones domiciliarias.
- Hay mayor empleo de mano de obra no calificada.
- Hay más facilidad para desatascar el alcantarillado condominial y las conexiones domiciliarias a través de equipo sencillo y de fácil manejo.

b. Las principales desventajas del alcantarillado condominial:

- Hay mayor exigencia de trabajos preliminares y permanentes, entre los cuales se citan: educación sanitaria y asistencia social para involucrar a la comunidad en el proceso constructivo, de operación y de mantenimiento de su sistema de alcantarillado condominial.
- Posibilidad de que surjan algunas dificultades por aspectos como el derecho de paso y servidumbre, expropiación, ampliación de áreas construida, entre otras.

6.3.4 Soluciones estructurales y no estructurales

Los impactos del cambio climático se harán sentir de manera transversal en los diferentes elementos del ciclo urbano del agua, y también en todos los sectores de la gestión urbana. Las orientaciones actuales para la gestión del agua urbana son fragmentadas a menudo en el diseño, la construcción y operación de los diversos elementos, los cuales son realizados en forma aislada, y muy poca coordinación con otros sectores e instituciones de gestión urbana.

Esta perspectiva fragmentada resulta, a menudo, en prácticas no sostenibles como puede ser el caso cuando algunas selecciones técnicas tienen impactos no-intencionales en otras partes del sistema urbano. Por ejemplo, la construcción de los embalses para el abastecimiento de agua del Distrito Central ha provocado una disminución del caudal ecológico base del Río Choluteca.

Un enfoque más sostenible para la gestión del agua debe incluir, además de la gestión integrada de los diferentes elementos del ciclo urbano del agua, la coordinación de acciones con otros sectores de la gestión urbana, lo cual puede ayudar a identificar sinergias y direccionar conflictos. En el contexto del cambio climático, los efectos son propensos a hacerse sentir a través de una variedad de sectores y servicios urbanos, por lo que el enfoque integrado es particularmente valioso para planificar la adaptación. Además, las opciones y tecnologías flexibles también pueden beneficiar a otros sectores urbanos.

La gestión integrada puede ser aplicada a través de la elaboración de un procedimiento continuo, evaluado regularmente con opciones en curso, diseñado para hacer frente a las circunstancias cambiantes, a través de la planificación estratégica.

6.3.5 Soluciones orientadas a la mejor gestión en la cuenca donde está ubicada la ciudad

Toda solución orientada a mejorar la gestión de los recursos del agua en la cuenca debe ir acompañada de la participación de los habitantes de la cuenca, a quienes se les puede convertir en miembros activos de la cuenca, como vigilantes y cuidadores de la misma, a cambio de permitirles realizar sus actividades normales de agricultura o ganadería bajo programas de control y manejo de sus actividades.

Un plan de manejo de la cuenca puede y debe ser elaborado para incluir las mejores prácticas del manejo de los recursos, procurando un mutuo en

beneficio tanto de los habitantes de la cuenca como de las ciudades que usufructúan, principalmente el agua para abastecimiento de la población.

Las mejores acciones podrían ser desarrolladas y ejecutadas a través del Instituto de Conservación Forestal (ICF), mediante la Gestión Forestal y el Desarrollo Sostenible de Honduras, planteado desde julio de 2010.

No obstante lo anterior, dentro de las soluciones que pueden ser planteadas dentro de un plan de manejo de cuencas, se expone:

- a. Control de quemas. La quema dentro de la cuenca puede ser permitida, pero deben enseñarse al campesino las técnicas de control, como lo es dentro de la cuenca la práctica de rondas, y la remoción y disposición de los residuos y cenizas después de la quema.
- b. Corte de árboles. El corte de árboles es una práctica común para leña, cercados y la construcción de vivienda rural. En tal virtud, el corte de árboles constituye la satisfacción de alguna necesidad para el campesino, por lo que debe existir una política del Gobierno Municipal para seleccionar las zonas donde puede haber corte de árboles y para la selección de los que pueden ser cortados. En retribución, debe inculcarse al campesino la necesidad de sembrar tres árboles por cada uno que se corta. El criterio de sembrar tres árboles es porque al menos uno de ellos germinará.

Esta política debe ser válida aun para los permisos de explotación para los empresarios de la madera, puesto que la negación de permisos los obliga a la tala ilegal con enormes perjuicios para la cuenca.

- c. Huertos familiares. Debe permitirse a las familias el desarrollo de sus huertos familiares, capacitándolas en la preparación de compostas para la elaboración de abono orgánico.
- d. Control de la erosión y arrastre de sedimentos. Deben desarrollarse programas para atenuar la deforestación como mecanismos para reducir la erosión dentro de la cuenca. Estos programas deben incluir la ejecución de obras para el control y manejo del arrastre de sedimentos de la erosión.

Los cambios en las características de la vegetación y del suelo, debido al aumento de las temperaturas y las altas tasas de evapotranspiración, pueden cambiar las tasas de atenuación y de infiltración, lo que afecta la capacidad de retención del suelo.

6.4 Otros temas sobre variabilidad

Las ciudades concentran una población que requiere de infraestructura para desarrollar la actividad económica y generar riqueza, y por lo tanto son afectadas de manera desproporcionada por los impactos locales del cambio climático. Las ciudades ubicadas en las zonas costeras y/o en las orillas de los ríos son particularmente vulnerables al aumento del nivel del mar y las inundaciones. Las ciudades también se caracterizan por el predominio de las superficies impermeables –que son menos capaces de absorber el aumento de las precipitaciones y, por tanto, aumentan la intensidad de la escorrentía de la lluvia (International Water Association, 2011).

Como el crecimiento demográfico abrumante tiene lugar en las ciudades, los gerentes de los entes encargados de la gestión de las aguas urbanas enfrentarán el creciente desafío de mantener un seguro y adecuado suministro de agua y de servicios de aguas residuales para los residentes urbanos. En el caso del Distrito Central, el crecimiento de la población urbana es muy rápido debido a la elevada tasa de crecimiento, como ocurre en los demás países en desarrollo, lo que agrava los problemas vinculados a la pobreza urbana, aumentando el tamaño de los sectores de la población vulnerable, y que ejerce al mismo una presión adicional por la disminución de los suministros de recursos como el agua.

La vulnerabilidad del abastecimiento urbano de agua, aguas residuales y sistemas de aguas pluviales se ven fuertemente afectados por las diversas manifestaciones del cambio climático, los impactos relacionados principalmente con su infraestructura física y con su funcionalidad.

6.4.1 Abastecimiento de agua

El suministro de agua se ha visto afectado por la mayoría de las manifestaciones del cambio climático previstas, tanto en términos de cantidad como de calidad del agua. Los flujos hacia los ríos, lagos y

embalses, así como las aguas subterráneas, se ven afectados por:

- a. La alteración de los patrones de precipitación y por el aumento de las temperaturas, lo que aumenta la evapotranspiración.
- b. La seguridad del suministro es afectada directamente en forma negativa por las sequías, ya que reduce los caudales de los ríos y las entradas de los embalses, lagos y aguas subterráneas, e indirectamente, por ejemplo, por el aumento de la ocurrencia de los incendios forestales que destruyen la capa vegetal reduciendo así, en forma significativa, los rendimientos de la cuenca.
- c. La estacionalidad de los niveles de suministro de agua puede cambiar en cualquier región y afectar la fuente principal de agua. La disminución de las lluvias de invierno afecta el período de recarga de aguas subterráneas, lagos y embalses.
- d. La calidad del agua es un componente importante del suministro de agua, y los cambios adversos de esa calidad afecta a los usuarios, y además, aumentan el costo de los servicios. La calidad del agua es afectada por las inundaciones, la erosión que aumenta la turbiedad, el aumento de la contaminación no puntual, y también a través de daños en las plantas de tratamiento de aguas residuales con la consiguiente contaminación bacteriana del agua. También es afectada por el aumento de las temperaturas, que tienen efecto sobre las características químicas y biológicas de los cuerpos de agua, y por disminución de la precipitación, lo que concentra la contaminación. Las consecuencias para ciertas fuentes de agua tienen efectos noqueo en otras, por ejemplo, la disminución de precipitación y su impacto sobre las aguas superficiales se traducirá en un aumento de la extracción de agua del subsuelo y de las fuentes de menor calidad del agua (Bates Kundzewicz, Wu y Palutikof, 2008).
- e. La infraestructura física del suministro de agua también es afectada negativamente por las inundaciones, por el daño directo en las tuberías e instalaciones, la sedimentación de los embalses y la sobrecarga de la capacidad. El cambio climático también puede reducir la funcionalidad de la potabilización del agua, por ejemplo,

la disminución de la efectividad de los procesos de tratamiento como la cloración, o causar una desinfección demasiado elevada por niveles de subproductos en los sistemas de distribución (Zwolsman *et al.*, 2009).

- f. La funcionalidad se ve afectada por el aumento de las temperaturas que favorecen la proliferación de algas que obstruyen los equipos y llevan a un gasto mayor del tratamiento para eliminar sabor y olor ligados al crecimiento de bacterias y hongos. Por otra parte, ciertas decisiones de gestión realizadas como respuesta a eventos de cambio climático pueden tener consecuencias para el suministro de agua; por ejemplo, estableciendo la capacidad del embalse como un amortiguador de absorción de crecidas, puede disminuir la disponibilidad de agua potable.
- g. Los suministros de agua también son afectados por el cambio climático impulsando alteraciones en la demanda de agua. El incremento de la temperatura aumentará la demanda de agua de todos los usos consuntivos –restringiendo las mejoras de eficiencia– y por lo tanto pueden llevar a la fuerte competencia por los recursos hídricos o exigir la fuente de suministro de agua alternativo. Un punto relacionado es que en el contexto de la reducción de la disponibilidad de agua, encontrando cualquier requerimiento de caudal mínimo ecológico existente, se volverá mayor desafío y podría poner en duda las renovaciones de la licencia para la producción de agua de beber (Zwolsman *et al.*, 2009)

6.4.2 Sistemas de alcantarillado sanitario para aguas residuales

Al igual que el suministro de agua, la integridad y funcionalidad de la infraestructura de tratamiento de aguas residuales es afectada por el cambio climático. La infraestructura de la red colectora y las plantas de tratamiento de aguas residuales, incluyendo desagües, tuberías y tanques, pueden ser dañadas en su estructura física por las inundaciones causadas por el aumento de las precipitaciones y desbordamiento de los ríos, como es el caso del Distrito Central.

Los eventos extremos pueden desafiar la funcionalidad de las plantas de tratamiento de aguas residuales por la dilución o concentración del influjo, en el caso de inundaciones o sequías, respectivamente.

La funcionalidad también se ve afectada por el aumento de la temperatura, la cual puede tener consecuencias positivas o negativas para el tratamiento de aguas residuales (Bates, Kundzewicz, Wu y Palutikof, 2008). Las temperaturas altas junto con la precipitación reducida pueden llevar al aumento de la rotura de tubería debido al secado de los suelos, así como al aumento del deterioro de las tuberías debido a la corrosión por acumulación de sulfuro de hidrógeno (Zwolsman *et al.*, 2009; Howe, Jones, Maheepala y Rodas, 2005).

El manejo de las aguas residuales también puede ser influenciado indirectamente, por ejemplo, como ocurre cuando el aumento de las temperaturas afecta a los niveles de oxígeno de los cuerpos de las aguas receptoras y, por lo tanto, conduce a requisitos más estrictos de tratamiento de las aguas residuales, con el fin de estabilizar estos niveles y no poner en peligro los ecosistemas.

7. Conclusiones

Honduras es un país privilegiado que posee abundantes recursos hídricos que conforman una excelente oferta hídrica que puede dar alivio a la demanda creciente de agua potable originada por el avance de la urbanización.

El caso de estudio correspondiente a la Capital de Honduras, refleja el impacto que ejerce la presión del desarrollo urbano sobre la explotación de los recursos naturales, la cual es fuerte e implacable sobre la demanda de agua para satisfacer esta necesidad vital de salud. La calidad y cantidad de agua disponible suele ser agravada por el desarrollo de actividades industriales y comerciales, que afectan y degradan los recursos hídricos en general, mediante la deforestación, los incendios forestales y descargas de aguas residuales.

La falta de desarrollo de infraestructura hídrica por parte de agencia oficial prestadora del suministro de agua en la Capital de Honduras obliga a un servicio racionado con interrupciones continuas por fallas en la red y problemas de presión, con mayor penuria en los barrios peri-urbanos y en las zonas altas de la ciudad donde el agua no llega por insuficiencias de presión. Como resultado, el acceso al servicio de agua presenta soluciones convencionales que se han vuelto de lento desarrollo, y soluciones no convencionales que proliferan como medidas paliativas ante la desesperación de la población por satisfacer esa necesidad, entre las cuales se menciona: camiones cisterna, banco de llaves públicas, venta libre en “cisternas hechizas”, captación o almacenaje en depósitos improvisados subterráneos denominados cosecha de agua, o sobre la superficie del terreno como estancamientos de agua.

Existe una enorme deuda social respecto del manejo de las aguas residuales, y el mayor impacto adverso de la urbanización es la contaminación de las fuentes de agua debido a la descarga abierta o eliminación incorrecta de las aguas residuales urbanas e industriales, y la falta de tratamiento de las mismas, contribuyendo al deterioro de la calidad del agua en las fuentes potenciales para abastecimiento de agua potable.

En su relación con la salud humana, además de ser un factor vital, el agua también puede ser un vehículo de enfermedad y muerte, y en Honduras ocurre los extremos que, por un lado hay escasez en

el suministro de agua en la zona urbana y rural, y por otro lado hay inundaciones causadas por huracanes y tormentas tropicales. Tanto la escasez como la abundancia afectan la salud de los hondureños. De acuerdo con estudios realizados por la UNAH, la causa principal de las diarreas infantiles es la contaminación del agua y de los alimentos que son lavados con agua contaminada, pues ante la falta de agua potable para satisfacer la creciente demanda de la población, especialmente la de menores recursos económicos, suelen hacer uso de las aguas de ríos contaminados.

La variabilidad y efectos del cambio climático en Honduras se manifiesta en los extremos del ciclo hidrológico: sequías severas y períodos de lluvias intensas con tormentas y huracanes que provocan inundaciones. Su influencia en la problemática del suministro de agua en la Capital de Honduras es notoria, la que sumado a la acción del hombre con quemas frecuentes del bosque y la deforestación, ha provocado variabilidad sobre los recursos naturales como son modificación en el patrón de lluvias, cambios extremos de temperatura, azolvamiento de cauces por efecto del arrastre de material erosionable e inundaciones frecuentes.

8. Recomendaciones

En concordancia con las conclusiones, se presentan las recomendaciones principales:

1. El Gobierno de Honduras debe establecer estrategias y políticas para el desarrollo sostenido, aprovechando al máximo su potencial que yace en sus recursos naturales. Es necesario establecer políticas y estrategias orientadas a la explotación racional y sostenida de sus recursos tomando en cuenta tres características importantes: 1) posee una población muy joven (55% es menor de 25 años), la población total es de 8,5 millones de habitantes; 2) la población en el área rural es mayor, y 3) la población femenina es mayor.
2. La estrategia de desarrollo del país en función de las cuencas debe ser fortalecida, destinando los recursos económicos necesarios para impulsar el progreso proveyendo la infraestructura requerida.

3. El SANAA, como autoridad responsable del suministro de agua de la capital de Honduras, debe desarrollar las gestiones pertinentes para aprovechar la oferta disponible del recurso agua, aplicando el consabido principio de que la fuente más económica es la más cercana.
4. La autoridad municipal debe actualizar el Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad capital para evitar la expansión urbana hacia las zonas de reserva y, como parte del ordenamiento y gobernabilidad, podría tipificar los desarrollos urbanos acompañándolos de planes de manejo de los entornos verdes. Así, en el caso de las zonas de desarrollo industrial, el Plan de Arbitrios debe establecer la necesidad del tratamiento de las aguas residuales.
5. El SANAA debe ampliar la cobertura del servicio de agua, recordándose que el Gobierno de Honduras es signatario de los Objetivos del Milenio, cuyo séptimo establece: Garantizar el sustento del medio ambiente, incorporando los principios del desarrollo sostenible en las políticas y los programas nacionales y reducir la pérdida de recursos del medio ambiente; reducir a la mitad, para 2015, la proporción de personas sin acceso sostenible al agua potable y a servicios básicos de saneamiento.
6. El SANAA debe desarrollar un plan estratégico para construir las nuevas presas propuestas, tomando como base de partida el Plan Maestro del Agua Potable, cuyas construcciones han sido postergadas, debido principalmente al aspecto económico y a que la magnitud de las obras requeridas demandan un elevado financiamiento.
7. El SANAA debe desarrollar un plan estratégico para construir la ampliación de la infraestructura hídrica, tomando como base de partida el Plan Maestro del Agua Potable. Al incrementar la oferta de agua será necesaria la construcción de nuevos tanques de almacenamiento de agua, nuevas líneas y redes de distribución de agua, entre otras.
8. Debe darse mayor apoyo mediante asistencias técnicas en los campos administrativo y técnico a las Juntas de Agua, puesto que las han hecho perdurar por más de 30 años y al seguir creciendo desde esas fechas, han demostrado que en la realidad constituyen una excelente alternativa, sobre todo para las zonas periurbanas y barrios en desarrollo de topografía agresiva y dispersos, donde la autoridad del agua no ha podido brindar el servicio en forma regular.
9. La Ley Marco de Agua y Saneamiento y su Reglamento deben ser actualizados y se debe proceder a ejecutarlos en su totalidad. Aún queda pendiente el cumplimiento de acciones de descentralización de sistemas de abastecimiento de agua, entre los cuales se cita el de la ciudad capital de Honduras. De igual manera, la conformación de las COMAS y USCL en todos los municipios del país, principalmente en la capital de Honduras, son acciones que urge sean ejecutadas a efectos de que la Ley cumpla con sus objetivos principales.
10. Debe dársele mucha importancia a la conformación de las COMAS y las USCL en cada comunidad, puesto que a través de esas instancias la Ley Marco de Agua y Saneamiento propone los mecanismos de transparencia y promueve la participación ciudadana.
11. Debe establecerse una evaluación de los tres modelos que permite la Ley Marco de Agua Potable y Saneamiento, a efectos de identificar cuál es el modelo de mejor ajuste, adaptabilidad y flexibilidad para las comunidades, de acuerdo con la zona geográfica de la cueca a la que pertenece y considerando los aspectos socio-culturales.
12. Es necesario que todos los actores involucrados en la administración de sistemas de agua, entre ellos el SANAA, las Juntas de Agua y proveedores privados, desarrollen programas solidarios para favorecer el acceso al agua potable, especialmente para las personas que habitan en áreas dispersas y que habitan dentro de las zonas donde hay disponibilidad del recurso. Y para los habitantes donde el acceso al agua es bastante distante, buscar las opciones viables entre las cuales destacan soluciones de bajo costo, como son: captación de agua lluvia almacenándola en depósitos subterráneos y extracción mediante bombeo manual o mediante cubetas.

13. Debe ejercerse un mayor control, especialmente de la calidad del agua que es distribuida a través de los camiones cisternas privados, ventas libres de agua, agua embotellada y en general todo tipo de proveedor, a efectos que la desesperación de la población por tener acceso al agua para su uso y consumo no lleve a casos extremos de epidemias por enfermedades hídricas por consumir agua de dudosa calidad. Esta desesperación conlleva, además, a agravar las condiciones de pobreza extrema, puesto que la población adquiere el agua a precios elevados.
14. Es necesario realizar un ajuste en los costos de venta del agua por parte de la autoridad del agua, estableciendo precios mayores para los rangos de consumo arriba de la cuota básica de 20 m³, de manera que los consumidores de agua arriba de esa cuota básica paguen el costo real de la producción. Este costo debe ser tal, que desestime al gran consumidor a utilizar agua potabilizada para lavar vehículos, regar jardines, paredes, entre otros.
15. Es necesaria la construcción de plantas depuradoras de aguas residuales, con el propósito de eliminar la contaminación ambiental por descargas directas de aguas residuales a los cauces.
16. En el caso particular de la ciudad capital de Honduras, para la eliminación de las múltiples descargas a los cauces de las quebradas y ríos que cruzan la ciudad, debería desarrollarse un programa de incorporaciones sanitarias al sistema colector general, para el manejo seguro de tales aguas residuales y eliminación de los malos olores que contaminan el aire capitalino.
17. Debe analizarse el caso de la ciudad de San Pedro Sula y replicar su modelo en la capital de Honduras, puesto que en esa ciudad el nivel de salud pública es el que presenta los mejores índices de morbilidad y mortalidad por enfermedades de origen hídrico, es decir, se comprueba que “el agua es salud” y que “salud es bienestar”.
18. Es necesario actualizar el Plan Maestro del Alcantarillado Sanitario y el Proyecto de Canalización de los Ríos de Tegucigalpa y Comayagüela, pues en ambos proyectos se plantean las soluciones para el desarrollo de los sistemas de alcantarillados sanitario y pluvial hasta el año 2020. Debería aprovecharse la geomorfología tan irregular que ha dado lugar a la existencia de abundantes micro-cuencas, por lo que un sistema de micro-drenajes integrado en un macro-sistema constituye una opción viable técnica y económica. Esta visión técnica es totalmente compatible para el sistema de aguas residuales, debiendo ser acompañada esta última de plantas depuradoras de aguas residuales.
19. Debe asegurarse el suministro de agua potable, totalmente segura para el consumo humano con el fin de mantener bajos los índices de morbilidad por diarreas, y de ser posible, reducirlos más.
20. La recomendación para los índices de morbilidad es válida para los índices de mortalidad por diarreas, es decir, se debe garantizar el suministro de agua potable, totalmente segura, para el consumo humano.
21. Es necesario tomar conciencia sobre la variabilidad y el impacto del cambio climático en los recursos hídricos, mediante la definición de estrategias y políticas para el aprovechamiento racional de los recursos; tomar nuevos criterios técnicos para adaptar los sistemas urbanos de agua potable, alcantarillados sanitario y pluvial al cambio climático, dando prioridad al agua declarándola un bien social y factor importante en la estrategia de combate para la reducción de la pobreza.
22. Debe revisarse la infraestructura para la gestión actual del agua, la cual requiere de soluciones prácticas e inmediatas para enfrentar los cambios de circunstancias, puesto que las proyecciones del cambio climático muestran que la variabilidad puede cambiar los requisitos de capacidad en forma regional o durante el año. La escogencia de sistemas sostenibles para la gestión del agua en zonas urbanas diseñados para enfrentar condiciones variables e impredecibles, parece ser la mejor respuesta para el planteamiento de nuevas soluciones urbanas, y lograr la implementación de opciones flexibles y a menudo descentralizadas, y tecnologías que toman en cuenta una serie de escenarios futuros.

9. Referencias

- Alcaldía Municipal del Distrito Central (2013). Unidad de Catastro. Tegucigalpa, M.D.C.
- Burdeth, J.A. (1995). Historia del cólera en Honduras. *Revista Médica Hondureña*, 63 (2): 83-85. Tegucigalpa, M.D.C.
- Congreso Nacional de Honduras (1961). Decreto Legislativo N° 91 de Abril de 1961, Ley Constitutiva del Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados, SANAA, Tegucigalpa, D.C.
- Congreso Nacional de Honduras (Enero de 2004). Decreto Legislativo 118-2003 de 20 de Agosto de 2003 Ley Marco del Sector Agua Potable y Saneamiento; Acuerdo Ejecutivo N° 006-2004 Reglamento General de la Ley Marco del Sector Agua Potable y Saneamiento, Tegucigalpa, M.D.C.
- El Heraldo* (14 de mayo de 2014). Tegucigalpa, M.D.C.
- Ente Regulador de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento (ERSAPS) (Julio de 2006). Reglamento de Juntas Administradoras de Agua, Tegucigalpa, M.D.C.
- Ente Regulador de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento (ERSAPS) (Septiembre de 2009). Manual Operativo de la Unidad de Supervisión y Control Local (USCL). Tegucigalpa, M.D.C.
- Ente Regulador de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento (ERSAPS) (Mayo de 2013). Manual Operativo de la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento (COMAS).
- Figuroa, M.; Poujol, E.; Cosenza, H. y Kaminsky, R. (1990). Etiología de las diarreas infantiles en tres comunidades de Honduras. *Revista Médica Hondureña*, 58: 212-220, Tegucigalpa, M.D.C.
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE) (2001). *Censo de Población y Vivienda 2001*. Tegucigalpa, M.D.C.
- Instituto Nacional de Estadística (INE) (Diciembre de 2010). Programa Presidencial para Desarrollo de Ciencia y Tecnología (PRODECyT). Saneamiento Ambiental e Impacto de ha Generado el Cambio Climático en Centros Poblados, Tegucigalpa, D.C.
- Instituto Nacional de Estadísticas (2013). Tegucigalpa, M.D.C.
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE) (Mayo de 2013). *Encuesta Permanente de Hogares, Programa de Encuesta de Hogares. Cuadragésima Cuarta Encuesta*. Tegucigalpa, M. D. C.
- International Water Association, Institute for Water Education UNESCO-IHE (2011). *Adapting Urban Water Systems to Climate Change*. Germany.
- Mendoza, Sergio R. (1999). Alcantarillados Condominiales: una Alternativa para los Municipios Saludables III Congreso de las Américas de Municipios Saludables y Comunidades Saludables. Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS), Medellín, Antioquia, Colombia.
- Ministerio de Salud/Organización Panamericana de la Salud OPS/OPM (1997). Normas Técnicas de las Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores y Alcantarillado Sanitario, Tegucigalpa, M.D.C.
- Rivera, C. (1967). Epidemia de Poliomieltitis en Honduras, 1965. *Revista Pediátrica de Honduras*, 2-6: 21-49. Tegucigalpa, M.D.C.
- SANAA (Noviembre de 1980a). Plan Maestro de Agua para Tegucigalpa, D.C.
- SANAA (Noviembre de 1980b). Plan Maestro del Alcantarillado Sanitario y Alcantarillado Pluvial para Tegucigalpa, D.C.
- SANAA (1986). Solicitud de Financiamiento para la Ampliación y Mejoramiento del Sistema de Agua Potable de Tegucigalpa. Plan Maestro para Tegucigalpa.
- SANAA (2013). http://www.sanaa.hn/static/media/documentos/facturacion_comercial.pdf
- SANAA (2014). División Metropolitana, www.sanaa.hn/metropolitana
- Secretaría de Finanzas/Banco Mundial/Ente Regulador de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento, SEFIN/BM/ERSAPS (Marzo de 2011). Manual para la Identificación e Implementación de Acciones de Tercerización para Entes Prestadores de Agua Potable y Saneamiento. Tegucigalpa, M.D.C.

- Secretaría de Salud (Octubre de 2010). Confirman casos de Leptospirosis en Honduras. Tegucigalpa, M.D.C.
- Secretaría de Salud (2013). Estadísticas oficiales. Tegucigalpa, M.D.C.
- Secretaría de Salud (Octubre de 2013). Honduras. Tegucigalpa, M.D.C.
- Suazo Bulnes, José Trinidad (Julio de 201). Gestión Forestal y el Desarrollo Sostenible de Honduras. Taller Nacional Bosques y Cambio Climático "Oportunidades del País para Insertarse en el Mecanismo REDD". San Pedro Sula.
- Villafranca, L. A.; C. A. Mejía; J. M. Servellón; V. Díaz; A. Pineda; E. Zúñiga; R. Muñoz; C. Girón; M. Villatoro y M. Estrada (2009). Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San José de la Vega. Trabajo de investigación para la UNITEC. Tegucigalpa, M.D.C.
- Wikipedia. *La Enciclopedia Libre*. http://es.wikipedia.org/wiki/Distrito_Central (Honduras) (Recuperado en mayo de 2013).
- <http://www.elheraldo.hn/mobile/msucesos/706335-387/voraz-incendio-al-norte-de-tegucigalpa>
- <http://www.greenfacts.org/es/glosario/tuv/tierras-secas.htm>
- <http://www.latribuna.hn/2014/05/12/incendios-for-estales-devastan-cerca-de-38-000-hectareas-en-honduras-este-ano/>
- <http://www.xplorhonduras.com/clima-de-honduras/>


10. Acrónimos

AMDC	Alcaldía Municipal del Distrito Central
BM	Banco Mundial
COMAS	Comisión Municipal de Agua
CONASA	Consejo Nacional de Agua y Saneamiento
DBO ₅	Demanda Biológica de Oxígeno (a los 5 días)
EPHPM	Encuesta Permanente de Hogares para Propósitos Múltiples
EPS-APS	Ente Prestador de Servicios de Agua Potable y Saneamiento
ERSAPS	Ente Regulador de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento
INE	Instituto Nacional de Estadísticas
JAA	Junta Administradora de Agua
Km	Kilómetro
KOICA	Korea International Cooperation Agency
LPS	Litros por segundo
PDAR	Planta Depuradora de Aguas Residuales
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
SANAA	Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados
SEFIN	Secretaría de Finanzas
USCL	Unidad de Supervisión y Control Local

México



Panorámica de la Ciudad de México donde siglos atrás había un hermoso lago.
Foto: ©iStock.com/ isitsharp.

An aerial photograph of a sprawling city, likely Mexico City, showing a dense urban landscape with numerous buildings and a river winding through the center. The city is set against a backdrop of mountains under a blue sky with scattered clouds.

“En México, la distribución del agua es extremadamente desigual en cantidad y calidad, tanto por razones naturales como por la evolución histórica de nuestras ciudades y actividades productivas. Esta condición nos vulnera más como país ante el cambio climático global, ya que nuestros equilibrios ecológicos son muy magros y gran parte de los recursos superficiales y subterráneos que abastecen nuestras ciudades ya están sobreexplotados. Es particularmente preocupante que mas de 70% de los cuerpos superficiales del territorio nacional presente algún grado de contaminación; que las actividades agrícolas desperdicien más de la mitad del agua usada en riego por prácticas inadecuadas; que cerca de 40% de las especies registradas de peces se encuentren amenazadas, en peligro de extinción o extintas por las afectaciones de su hábitat, y que todavía existan 11 millones de mexicanos que no tienen agua potable”. Mario Molina, Premio Nobel

Agua Urbana en México

Coordinadora

María Luisa Torregrosa

Autores colaboradores

**Ismael Aguilar Barajas, Blanca Jiménez Cisneros,
Karina Kloster, Polioptro Martínez, Jacinta Palerm,
Ricardo Sandoval y Jordi Vera**

Apoyo

Amalia Salgado

Resumen

El fuerte crecimiento de México a lo largo del siglo XX llevó a una importante concentración de la población humana en áreas relativamente pequeñas que demandan grandes cantidades de agua, alimentos y energía. Casi 8 de cada 10 personas viven en localidades urbanas en el país. A pesar de que existe una buena disponibilidad de agua como promedio y la cobertura del servicio de suministro se ha incrementado de manera permanente, las ciudades mexicanas se enfrentan a crecientes problemas en los servicios de agua y saneamiento. Este documento aborda la situación actual de los servicios públicos de agua y saneamiento en el país y los principales problemas. El trabajo revisa, de manera general, la estructura de la población y la generación de las ciudades, las formas de gestión y administración del agua, las fuentes de acceso, la calidad del agua, la distribución, la desigualdad en el acceso, el desalojo del agua en las ciudades, el saneamiento, el reúso, los riesgos en la salud, la infraestructura y el cambio climático. A partir de esta revisión propone algunas recomendaciones para la política del agua en el país.

1. Introducción

Durante el siglo XX, México al igual que otros países experimentó un fuerte proceso de urbanización y un crecimiento rápido de las ciudades (Garza, 1990; Pineda *et al.*, 2010) debido, principalmente, a la expansión de las actividades industriales y de los servicios, así como a los crecientes movimientos migratorios de población que se dirigieron hacia las ciudades y dieron lugar a su multipli-

cación y acelerado crecimiento (Garza *et al.*, 1995). El resultado representó la concentración de población humana en áreas muy pequeñas que demandaban grandes cantidades de agua, alimentos y energía, generando importantes volúmenes de desechos y creando, con ello, un desequilibrio del ambiente. A nivel mundial, los espacios dedicados a las ciudades representan menos de 1% del espacio habitable (Jiménez, 2013), mientras que 73% de la producción bruta total se genera en 56 áreas metropolitanas (ONU HABITAT, 2011).

En México, casi 8 de cada 10 personas viven en localidades urbanas (INEGI, 2010). A pesar de que existe una buena disponibilidad de agua como promedio en todo el país, y la cobertura del servicio de suministro se ha incrementado de manera permanente, las ciudades mexicanas se enfrentan a crecientes problemas en los servicios municipales de agua y saneamiento, en particular para las poblaciones de bajos recursos, especialmente en términos de la continuidad del servicio y de la calidad del agua.

El 53% de toda el agua subterránea que se emplea para todos los usos proviene de acuíferos sobreexplotados (CONAGUA, 2012a), mientras que las fuentes de agua superficiales, como el lago de Chapala o el sistema de presas Cutzamala, están amenazados por la contaminación, la competencia con otros usuarios y por la variabilidad climática. Asimismo, la falta de sistemas de agua y saneamiento sostenibles de alta calidad representa un enorme desafío para la riqueza económica del país y para el bienestar social.

Respecto del servicio de alcantarillado y saneamiento también se enfrentan desafíos importantes. En las zonas urbanas el alcantarillado, en general, tiene una cobertura alta; sin embargo la cobertura de tratamiento del agua residual es muy baja.

La falta de sistemas de agua y saneamiento sostenibles de alta calidad representa un enorme desafío para la riqueza económica del país y para el bienestar social (Sandoval, 2012). La disponibilidad de agua por persona ha disminuido debido al crecimiento de la población, pero en el caso de México la situación es grave por la concentración de la mayor parte de la población en zonas urbanas, industriales y agrícolas del centro y el norte del país, en donde hay menos agua disponible (Saltiel, 2008 en Sandoval, 2012). De acuerdo con el Censo General 2010, sólo 73% de los hogares reciben suministro de agua todos los días.

El problema para alcanzar un servicio de agua urbana sostenible es más complejo que tener agua, contar con conexiones sanitarias o importar agua de otras cuencas, ya que las áreas urbanas requieren una extensa área de captación y espacio y recursos económicos para tratar las aguas residuales, las cuales vierten en un reducido espacio. Además, en las ciudades las áreas de recarga del acuífero están siendo pavimentadas y las riberas invadidas; por otro lado, la variabilidad del clima y el efecto de la isla de calor aumentan los riesgos de inundaciones urbanas.

2. Crecimiento poblacional y estructuración de ciudades

México es un país de enormes contrastes. En sus casi 2 millones de kilómetros cuadrados de ecosistemas biodiversos habitan más de 112 millones de personas con una importante variedad de acervos culturales. México es la onceava economía mundial (considerando el PIB de 2011) y miembro de la Organización de Cooperación para el Desarrollo Económico (OCDE); además, posee un Índice de Desarrollo Humano (IDH) alto (0.739 en 2010). Sin embargo, estos datos esconden profundos contrastes sociales y de acceso al servicio de agua y de saneamiento entre

Mapa 1. Índice de Desarrollo Humano (IDH) por estado



Fuente: <http://www.fotosimagenes.org/estados-de-mexico-por-idh>

los habitantes de las 32 entidades federativas que forman el país (Mapa 1).

En lo que se refiere al crecimiento poblacional, México ha experimentado diferentes etapas. A principios del siglo XX, en el año 1900, sólo había 33 localidades de más de 15 mil habitantes en las que residían 1.4 millones de personas en total. Durante 1900 a 1940 inició un lento proceso de urbanización que se acelera y dinamiza a partir de la década de los cuarenta. Para 1950, el número de localidades de más de 15 mil habitantes se elevó a 84; para 1960 este número fue de 119 y su presencia se extendió a casi todo el territorio nacional.

Para el año noventa, México ya contaba con una población total de 81.2 millones de habitantes, de los cuales 61% residía en 309 localidades urbanas de más de 15 mil pobladores. De éstas, 99 eran ciudades de más de 50 mil habitantes, 15 de más de 500 mil y 4 (Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey y Puebla) contaban con más de un millón de habitantes (Garza *et al.*, 1995). En 2005, la población del país ascendió a 103.2 millones de habitantes, de los cuales 62% estaba en localidades de más de 15 mil habitantes, es decir, se mantuvo la proporción urbana.

El Sistema de Ciudades o Sistema Urbano Nacional está compuesto por 56 regiones metropolitanas y 327 ciudades con más de 15 mil habitantes, en las

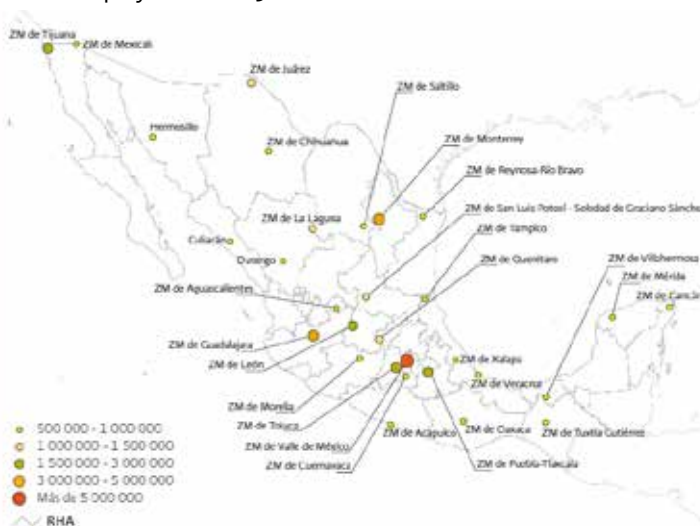
cuales vive 56% de las personas. Además, en los últimos 30 años la expansión territorial de las ciudades ha crecido cuatro veces más rápido que la población total y tres veces más que la urbana.

En el último censo (INEGI, 2010), la población total del país fue de 112.4 millones de habitantes, de los cuales 70.2 millones viven en localidades de más de 15 mil habitantes (62.5%); de éstos 53.6 millones viven en las 117 ciudades del país que tienen más de 100 mil habitantes. Algunas de estas ciudades se agrupan en una de las 56 zonas metropolitanas que actualmente existen en el país y que concentran una población total de 63.8 millones de habitantes (57% del total del país).

La población urbana seguirá creciendo, generando una presión creciente sobre el desarrollo urbano y la prestación de servicios, particularmente en las zonas del país donde los recursos naturales (especialmente agua) ya son escasos, con patrones de sobreexplotación y, en general, amenazados en su calidad (Mapa 2).

Las ciudades han experimentado un crecimiento discontinuo, disperso y un modelo espacial de baja densidad, por lo que la introducción de los servicios no sólo es más difícil sino que es más cara (Sandoval, 2012). Las ciudades medianas (entre 500 mil y 1 millón de habitantes) están creciendo más rápido y habrá más de 20 ciudades grandes (con más de 1 millón de personas) en 2030 (ONU HABITAT, 2011). El problema más difícil será para “la megalópolis de la Ciudad de México”, que estará formada por 7 regiones metropolitanas: Valle de México, Toluca, Cuernavaca, Cuautla, Puebla-Tlaxcala, Pachuca y Querétaro; actualmente todas ellas ya enfrentan problemas de abastecimiento de agua y tienen condiciones insostenibles de suministro (Sandoval, 2012).

Mapa 2. Núcleos de población de más de 500 mil habitantes, proyección 2009



Nota: Incluye Zonas Metropolitanas (ZM) y municipios no censados. La población 2009 se ha calculado con base en las proyecciones de CONAPO.
 Fuente: Conagua. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de:
 CONAPO. Proyecciones de la Población de México 2009-2050. México, 2007.
 SEDESOL, INEGI y CONAPO. Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2005. México, 2007.
 INEGI. El Censo de Población y Vivienda 2005.

3. Las fuentes de agua. Disponibilidad de agua y usos consuntivos

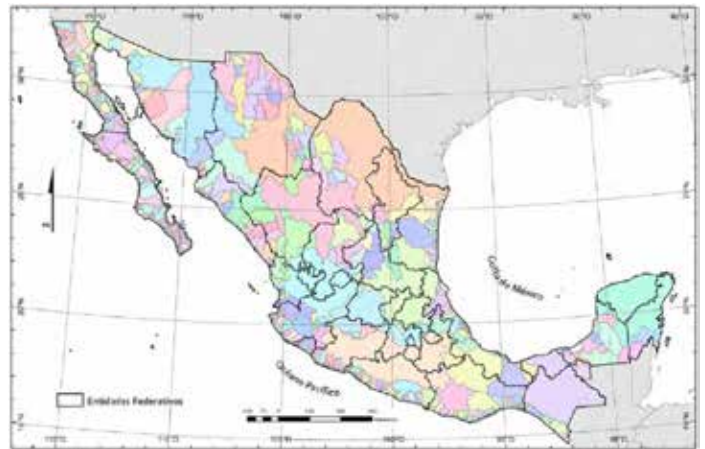
México se divide en 1 mil 471 cuencas hidrográficas (ver Mapa 3), las cuales se han agrupado o subdividido en 731 cuencas hidrológicas para fines de publicación de la disponibilidad de aguas superficiales. Asimismo, el país cuenta con 653 acuíferos (Diario

Oficial de la Federación, 5 de diciembre de 2001). La mayor parte de información de los recursos de agua se presenta a nivel de región hidrológico-administrativa, de cuenca, acuífero o siguiendo criterios político-administrativos (estados y municipios). Por ello, mucha de la información que se tiene en esta sección se presentará a ese nivel y no a nivel urbano-metropolitano como sería deseable. Éste es, sin duda, un primer problema por atender: la necesidad de contar con información a nivel urbano sobre el agua para realizar una planeación adecuada. Es quizá un problema que deba ser resuelto por los jefes de Gobierno de las ciudades, quienes requieren de dicha información para mejorar su proceso de toma de decisiones.

Del total de agua extraída en México, aproximadamente 37.5% proviene del subsuelo mientras que el restante 62.3% proviene de fuentes superficiales. Esta relación varía dependiendo del uso. El abastecimiento doméstico y la industria son mayormente dependientes de las fuentes de agua subterránea, mientras que para el riego agrícola y la generación de energía se usan principalmente fuentes de agua superficiales.

En el Mapa 4 se muestran los 2 mil 457 municipios del país. En color rosa se muestran aquellos que predominantemente son dependientes del agua subterránea y en color azul los que dependen principalmente de la superficial. Se observa cómo los municipios de los estados de Baja California y Baja California Sur, los de toda la península de Yucatán y gran parte de los municipios del interior en la zona Norte del país (Coahuila, parte de Nuevo León, Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato y gran parte de Jalisco) usan predominantemente fuentes subterráneas para sus usos consuntivos.

Mapa 3. Cuencas hidrográficas en las que se divide el país



Fuente: CONAGUA, 2012b.

Mapa 4. Fuente predominante (ya sea superficial o subterránea) para usos consuntivos a nivel municipal, 2009



Fuente: CONAGUA, 2011.

Tabla 1. Usos consuntivos agrupados según origen del tipo de fuente de extracción, 2012

Uso	Origen		Volumen total (km³)	Porcentaje extracción
	Superficial (km³)	Subterráneo (km³)		
Agrícola*	41.2	22.2	63.3	76.6
Abastecimiento Público*	4.7	7.3	12.0	14.5
Industria autoabastecida**	1.4	1.9	3.3	4.0
Energía eléctrica excluyendo hidroelectricidad	3.6	0.4	4.1	4.9
Total	51.0	31.8	82.7	100

Nota: 1km³=1 000hm³-mil millones de m³. Los datos corresponden a volúmenes concesionados al 31 de diciembre del 2009. Las sumas pueden no coincidir por el redondeo de cifras. *Incluye los rubros agrícola, pecuario acuicultura, múltiple y otros de la clasificación del REPDA. Incluye, asimismo, 1.30 km³ de agua correspondientes a Distritos de Riego pendientes de inscripción. Incluye los rubros público urbano y doméstico de la clasificación del REPDA. **Incluye los rubros industrial, agroindustrial, servicios y comercio de la clasificación del REPDA. Fuente: CONAGUA, 2013a.

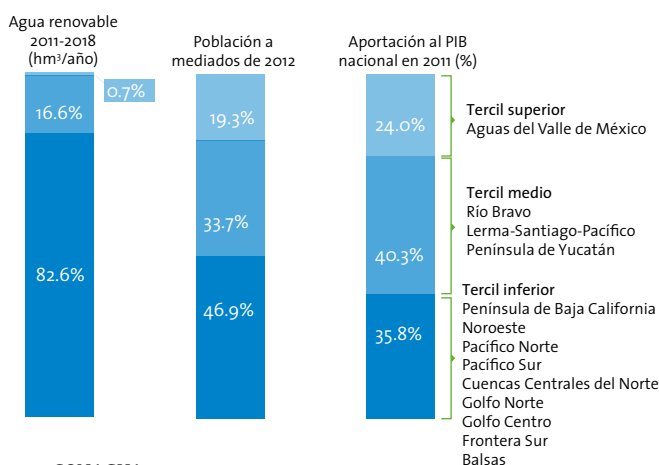
En 2012, del total del agua naturalmente disponible en México se extrajeron alrededor de 82.7 kilómetros cúbicos (km³). De esa cantidad, el agua utilizada para el abastecimiento de asentamientos humanos –lo que podríamos llamar el agua urbana– fue de 12 km³. A esta cifra se deben agregar 3.3 km³ de agua que consume la industria autoabastecida, ubicada normalmente en las zonas urbanas. Es decir, 14.5% del agua que se utiliza en México está destinado al uso público urbano, 4% al uso industrial y 5% a la generación de energía termoeléctrica, mientras que el restante 77% se utiliza en los usos agropecuarios (ver Tabla 1). Del agua utilizada para el abastecimiento público urbano y la industria autoabastecida, 8.8 km³ (60%) proviene del subsuelo mientras que 40% proviene del agua superficial.

Mapa 5. Uso consuntivo predominante a nivel municipal, 2009



Fuente: CONAGUA, 2011.

Gráfica 1. Contraste regional entre desarrollo y agua renovable, 2011



Source: CONAGUA, 2013a.

El volumen concesionado para uso público urbano, aquel que usan los organismos operadores para proveer el servicio de agua entubada, aumentó de 9.57 km³ en 2001 a 12 km³ para el año 2012 (CONAGUA, 2013a), es decir, a una tasa superior que el propio crecimiento de la población urbana. Los tres estados con mayores volúmenes de concesiones de uso público urbano son el Estado de México, el Distrito Federal y Sonora, mientras que los de menor volumen para este uso son Baja California Sur, Colima y Tlaxcala. De este volumen, 53% proviene de fuentes subterráneas. En el año 2001 la proporción de concesiones de agua subterránea para la provisión de agua entubada doméstica de origen subterráneo era de 65.4%, por lo que parecería haber una disminución en la dependencia de fuentes subterráneas.

En el Mapa 5 se localizan los municipios cuyo uso consuntivo predominante (más de 50% del volumen) es el uso público urbano (marcados en azul). En estos municipios la vocación agrícola de riego es menor, por lo que el agua consumida es predominantemente para usos domésticos.

3.1 Distribución del agua frente a la distribución poblacional y de generación de riqueza

Como se comentaba anteriormente, México presenta una gran diversidad regional cuando se analiza la distribución poblacional de agua renovable y de generación del Producto Interno Bruto (PIB). A partir de las Regiones Hidrológicas Administrativas (RHA), se pueden clasificar en grandes grupos conforme su aportación al PIB nacional. Por ejemplo, la región XIII Aguas del Valle de México, con 24% de PIB, representa por sí sola casi la quinta parte de la población nacional, en tanto que presenta baja cantidad de agua renovable. Por el contrario, la agrupación de las regiones hidrológico-administrativas I (Baja California), II (Noroeste), III (Pacífico Norte), IV (Balsas), V (Pacífico Sur), VII (Cuencas centrales del Norte), IX (Golfo Norte), X (Golfo Centro) y, XI (Frontera Sur) con baja aportación al PIB, presenta la mayor cantidad de agua renovable del país, como se observa en la Gráfica 1.

Estos contrastes regionales también se observan al analizar los volúmenes de agua concesionados, y por tanto consumidos, para los diferentes usos. Los estados con mayores volúmenes de agua concesionados para los diferentes usos son los de Sinaloa, Sonora, Michoacán y Chihuahua, en gran medida por los

importantes volúmenes agrícolas que estos estados consumen. En contraste, los estados de Aguascalientes, Tabasco, Baja California Sur y Tlaxcala tienen volúmenes menores de agua concesionados. El Estado de México, Distrito Federal y Sonora son los estados con mayores volúmenes de agua concesionada para uso urbano. Pero en términos del consumo per cápita, calculado a partir del agua urbana concesionada, son los estados de Chihuahua y Sonora.

Por lo que se refiere a los consumos en las ciudades mexicanas, un estudio reciente de 142 ciudades de más de 50 mil habitantes, las cuales incluyen a 51.5 millones de los habitantes urbanos del país, develó que el caudal provisto es de 171 m³/s (CONAGUA, 2012c), es decir que la media de agua provista por habitante en las ciudades más grandes del país es de 288 litros por habitante al día. Este valor fluctúa entre las ciudades con una alta dotación diaria (de más de 575 l/hab. en ciudades como San José del Cabo, Guaymas o San Juan de los Lagos, Jalisco) y aquellas con una dotación menor a los 125 litros por habitante al día (Zinacantepec, Zona Metropolitana de Toluca, Acayucan, Veracruz y el Pueblito, Zona Metropolitana de Querétaro). Es necesario realizar un estudio de mayor detalle para determinar las razones de estas diferencias, así como las posibilidades de mejora en la eficiencia del uso del agua urbana.

3.2 Sobreexplotación de aguas superficiales y subterráneas en las zonas urbanas

El grado de sobreexplotación de las aguas superficiales en las 731 cuencas hidrológicas del país se calcula a partir de su disponibilidad media anual. Las cuencas que actualmente cuentan con disponibilidad de agua superficial para ser concesionada aparecen en el mapa de color verde, mientras que las que tienen déficit se presentan en color rojo.

Por lo que se refiere a la situación de los recursos hídricos subterráneos y su sobreexplotación, a partir de la década de los años setenta ésta ha aumentado significativamente. En el año 1975 eran 32 acuíferos sobreexplotados, 80 en 1985 y 101 en 2011. De los acuíferos sobreexplotados se extrae 53.6% del agua subterránea para todos los usos. El Mapa 7 muestra la disponibilidad de aguas subterráneas por región hidrológica administrativa.

La región hidrológica-administrativa Río Bravo y Lerma Santiago concentra la mayor cantidad de

Mapa 6. Disponibilidad de aguas superficiales



Fuente: CONAGUA, 2013a.

Mapa 7. Disponibilidad de aguas subterráneas por región hidrológica administrativa



Fuente: CONAGUA, 2013a.

acuíferos sobreexplotados en el país. En las regiones Cuencas Centrales del Norte, Aguas del Valle de México y Lerma Santiago al menos 25% de los acuíferos están sobreexplotados. Por otro lado, destacan la regiones de Pacífico Sur, Golfo Norte, Frontera Sur y Península de Yucatán donde ninguno de los acuíferos está sobreexplotado.

Recientemente, un estudio del Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO, 2013) publicó varios indicadores para evaluar la competitividad urbana de las 77 principales ciudades mexicanas. Entre los

indicadores ambientales se incluyeron datos de sobreexplotación de acuíferos, más concretamente el porcentaje de superficie que está sobreexplotado. Entre las ciudades con más serios problemas de sobreexplotación de acuíferos se encuentran la de Aguascalientes, Mexicali, La Paz, Ensenada, Tijuana, Los Cabos, Campeche, Ciudad del Carmen, Saltillo, Monclova-Frontera, La Laguna, Piedras Negras y Tecomán. Como lo muestra la Tabla 2, una gran parte de las ciudades del país se encuentran sobre acuíferos que no enfrentan un grado de explotación mayor a 25%.

Para enfrentar la sobreexplotación de los recursos hídricos, sean superficiales o subterráneos, el Estado mexicano cuenta con varios instrumentos entre los que destacan las vedas. Una zona de veda es un área específica de una región hidrológica, cuenca o acuíferos, en las cuales el Estado entra a reglamentar fijando los volúmenes de extracción, uso y descarga que se podrán autorizar. Las vedas pueden decretarse en virtud del deterioro del agua en cantidad o calidad, por la afectación a la sustentabilidad hidrológica o por el daño a cuerpos de agua superficiales o subterráneos. En el caso de las aguas subterráneas, a diciembre de 2009 se tenían vigentes 145 zonas de veda publicadas entre 1948 y 2007.

3.3. El agua en las zonas periurbanas de México

El proceso de urbanización en México ha seguido un patrón similar al de otros países de América Latina y gran parte del resto del mundo. Cuando las crisis recurrentes del capitalismo mundial mostraron el límite del modelo de desarrollo de sustitución de im-

portaciones, los países latinoamericanos, y México en particular, llevaron a cabo la industrialización en sus propios territorios, lo que aceleró el proceso de urbanización. Como tantas otras, la Ciudad de México se expandió de manera exponencial, superponiendo distintos espacios y culturas. Esto configuró poco a poco un modelo de crecimiento hacia la periferia que aunque estimulado por el desarrollo industrial, no siempre se encontró con disposiciones gubernamentales apropiadas para la ocupación territorial. En muchos sitios, este proceso de crecimiento poblacional se enfrentó (y continúa haciéndolo) con las formas en que los gobiernos producen zonificaciones territoriales y desestimulan el avance habitacional hacia espacios catalogados como de conservación. Otras veces, las propias comunidades de origen son las que se niegan a enfrentar en sus territorios este crecimiento poblacional. Entonces es así como comienzan a aparecer en las zonas periurbanas espacios urbanos informales, irregulares e incluso ilegales. El mecanismo de contención de crecimiento utilizado en casi todos los casos es a través de la negación de servicios a la población, entre ellos el agua, como elemento primordial para la instalación de las viviendas.

Las zonas periurbanas se encuentran así caracterizadas como espacios de transición entre lo rural y lo urbano, en donde coexisten relaciones y culturas específicas de uno y otro ámbito, lo que posibilita la creación de nuevas modalidades de formas de abasto de agua. Algunas de estas opciones son más o menos autónomas, independientes de la opción gubernamental que se basa en mecanismos formales que instalan el acceso a la red como única alternativa.

Tabla 2. Sobreexplotación de acuíferos en las principales ciudades mexicanas, 2012

% superficie acuífero Sobreexplotada	Ciudades
> 90%	Aguascalientes, Campeche, Ciudad del Carmen, Ensenada, La Paz, Los Cabos, Mexicali, Monclova-Frontera, La Laguna, Piedras Negras, Tecomán, Tijuana and Saltillo.
Entre 75% y 90%	Colima-Villa de Álvarez, Chihuahua, Manzanillo, Tapachula and Tuxtla Gutiérrez
Entre 50% y 75%	Celaya, Durango, Juárez and Valle de México.
Entre 25% y 50%	Guanajuato, Irapuato and León
< 25%	Acapulco, Cancún, Cárdenas, Ciudad Obregón, Ciudad Victoria, Coatzacoalcos, Córdoba, Cuautla, Cuernavaca, Culiacán, Chetumal, Chilpancingo, Guadalajara, Guadalupe, Guaymas, Hermosillo, La Piedad-Pénjamo, Los Mochis, Matamoros, Mazatlán, Mérida, Minatitlán, Monterrey, Morelia, Nuevo Laredo, Oaxaca, Ocotlán, Orizaba, Pachuca, Pánuco, Poza Rica, Puebla-Tlaxcala, Puerto Vallarta, Querétaro, Reynosa-Río Bravo, Rioverde- Ciudad Fernández, Salamanca, San Francisco del Rincón, San Juan del Río, San Luis Potosí, Soledad, Tampico Tehuacán, Tehuantepec-Salina Cruz, Tepic, Tlaxcala-Apizaco, Toluca, Tula, Tulancingo, Uruapan, Veracruz, Villa Hermosa, Xalapa, Zacatecas and Zamora-Jacona.

Fuente: Elaboración Jordi Vera, a partir de información de IMCO, 2013.

Entre las diferentes formas de abasto de agua que se han encontrado en diversos estudios se encuentra la comercialización mediante pipas, donde la gente compra el agua, o arreglos comunitarios para la construcción, mantenimiento y operación del sistema local, que suelen basarse en una alta inversión de los propios pobladores (aporte con trabajo en faenas y en cargos honoríficos para administrar el sistema, pago de cuotas regulares y extraordinarias, entre otras). Estos mecanismos además de los aspectos de la infraestructura incluyen mecanismos de regulaciones autogestivas que incluyen el control, la vigilancia del sistema y la implementación de sanciones. En este sentido, las formas en las que se construye el territorio conforman un amplio panorama de alternativas de abasto de agua, muchas de las cuales producen formas originales, independientes y hasta confrontadas con los arreglos gubernamentales (Paleru, 2013; Torregrosa *et al.*, 2006).

Por lo anterior, se puede decir que en el retroceso del Estado en la capacidad de garantizar el abasto de agua universal y de calidad, aparecen como alternativa viable los arreglos comunitarios más o menos autónomos, informales, irregulares e ilegales, que junto con un amplio espectro del mercado del agua, igualmente formal, informal que ilegal, dan solución a lo que el Estado no puede o se niega a resolver. En estos territorios las regulaciones y los mecanismos de acceso y funcionamiento del sistema de abasto de agua se construyen en el día a día y forman parte de la lucha cotidiana por una mejor calidad de vida.

4. El suministro de agua potable en las áreas urbanas

4.1. Situación actual de la cobertura y el acceso a agua potable en el país

En la Tabla 3 se presentan algunas de las ciudades más densamente pobladas del país, entre las que destacan la Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey y Puebla. En estas ciudades la cobertura es superior a la media y se encuentra entre 97 y 100% de la población (CONAGUA, 2012c). La Ciudad de México y la de Monterrey son las que consumen un mayor volumen de agua. En ambos casos la provisión de agua urbana recorre grandes distancias a través de complejos sistemas hidráulicos. El caso de la Ciudad de México y el sistema Cutzamala es el más conocido.

Por lo que se refiere a la dotación media en las diez principales ciudades mexicanas destacan Juárez y Ciudad de México como las dos ciudades con dotaciones medias superiores a 315 litros por habitante al día, mientras que ciudades como Puebla y Naucalpan presentan las menores dotaciones (inferiores a los 172 litros / habitante / día).

Al 31 de diciembre de 2012 se registró una cobertura nacional de agua potable de 92.0%, al incorporar por primera vez al servicio a 1.7 millones de habitantes (CONAGUA, 2013b). A nivel de entidad federativa, se observa que en 25 estados de la República Mexicana se registra una cobertura superior al promedio nacional; sobresalen Yucatán y Colima con cobertu-

Tabla 3. Principales ciudades de México con su población, caudal producido y dotación media

Estado	Localidad	Población	Población con servicio		Caudal producido (l/s)	Dotación media (l/hab./día)
			Habitantes	(%)		
Distrito Federal	Ciudad de México	8,609,001	8,367,691	97	31,418	315
Jalisco	Guadalajara	3,952,185	3,873,141	98	9,586	210
Nuevo León	Monterrey	3,702,161	3,686,612	100	11,076	258
Puebla	Puebla de Zaragoza	1,830,376	1,767,777	97	3,615	171
Baja California	Tijuana	1,619,270	1,586,885	98	3,589	191
Chihuahua	Juárez	1,360,865	1,320,039	97	5,437	345
Estado de México	Ciudad Nezahualcóyotl (municipio conurbado de la Ciudad de México)	1,096,911	1,085,942	99	2,472	195
Yucatán	Mérida	878,059	834,156	95	3,000	295
Estado de México	Naucalpan de Juárez (municipio conurbado de la Ciudad de México)	834,525	817,835	98	1,300	135
Chihuahua	Chihuahua	831,211	764,714	92	3,992	415

Fuente: CONAGUA, 2012c.

ras superiores a 98%. En contraste, Chiapas, Oaxaca y Guerrero presentan coberturas inferiores a 80%. En las zonas urbanas la evolución de la cobertura de agua entubada (1990-2011) se presenta en la Tabla 4.

4.1.1 La cobertura en relación con los ingresos

No se cuenta con información a nivel nacional de este tipo; sin embargo, hay diversos estudios que abordan el problema a nivel de localidades, delegaciones y municipios. En estos estudios se señala la fragilidad de las cifras oficiales ya que, inclusive en las ciudades con una buena cobertura de red como es el caso del Distrito Federal, el tema del tandeo, las conexiones irregulares a la red y el abasto de importantes sectores de la población con pipa es significativo y matiza las cifras de cobertura que se mencionan en los datos oficiales. Respecto de la información oficial existen estudios a nivel colonia en las zonas urbanas del país (Índice de Marginación Urbana 2010, CONAPO), donde se conoce el grado de marginación de los habitantes y se puede ligar con la cobertura de agua entubada.

Un indicador indirecto de la vulnerabilidad hídrica es la disponibilidad o no de tinaco, cisterna o aljibes (depósito de agua entre los 500 y los 10 mil litros aproximadamente). Este indicador está disponible por primera vez como parte del cuestionario ampliado del Censo de Población y Vivienda de INEGI de 2010. Teniendo en cuenta que el servicio de agua entubada en las ciudades mexicanas es tandeado, este indicador refleja la vulnerabilidad hídrica de los habitantes que no cuentan con dichos sistemas de acopio de agua. Como se observa en la Tabla 5 los habitantes de las grandes zonas urbanas son menos vulnerables que los habitantes de las zonas rurales.

4.2 Caracterización de los servicios de acuerdo con la continuidad, la calidad del agua y las fugas de agua en el sistema

Los datos de continuidad en el servicio a nivel nacional fueron recogidos por primera vez en el Censo de INEGI 2010. Sin embargo, estos datos no están disponibles para las zonas urbanas del país, sino

Tabla 4. Evolución de la cobertura de agua potable en zonas urbanas, 1990-2012

Año	Población total en viviendas particulares	Habitantes (millions)			Porcentaje de cobertura
		Con servicio	Sin servicio	Beneficiados	
1990	57.3	51.2	6.1		89.4
1995	66.7	62	4.7	10.8	92.9
2000	71.1	67.3	3.8	5.3	94.6
2005	76.1	72.3	3.8	5	95.0
2010	84.4	81	3.7	8.7	95.6
2010*	85.4	81.5	3.9	0.5	95.4
2012*	87.9	84.0	3.9	1.3	95.5

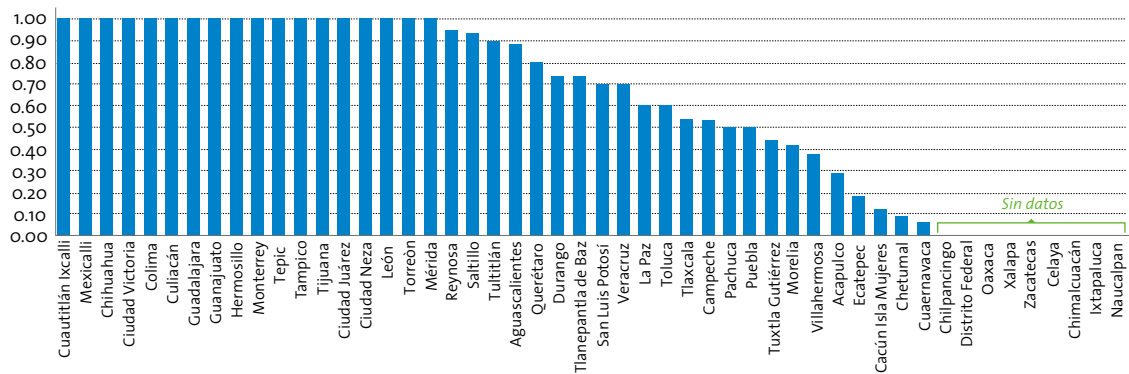
Nota: Los porcentajes y sumas pueden no coincidir por el redondeo de las cifras. *Información a Diciembre determinada por la CONAGUA. Fuente: CONAGUA, 2013b a partir de información de los Censos de Población y Vivienda 1990, 2000 y 2010. Conteos y Vivienda 1995 y 2005.

Tabla 5. Disponibilidad de sistemas de almacenamiento de agua según tamaño de localidad

Tamaño de localidad	Equipamiento	Viviendas particulares habitadas	Disponibilidad		
			Disponible	No dispone	No especificado
México	Tinaco	28,643,491	55.1	43.6	1.3
México	Cisterna o aljibe	28,643,491	25.8	72.8	1.4
Menos de 2,500 habitantes	Tinaco	6,282,646	36.2	63.0	0.8
Menos de 2,500 habitantes	Cisterna o aljibe	6,282,646	11.3	87.9	0.8
100,000 y más habitantes	Tinaco	14,317,340	63.3	35.0	1.9
100,000 y más habitantes	Cisterna o aljibe	14,317,340	34.6	63.5	1.9

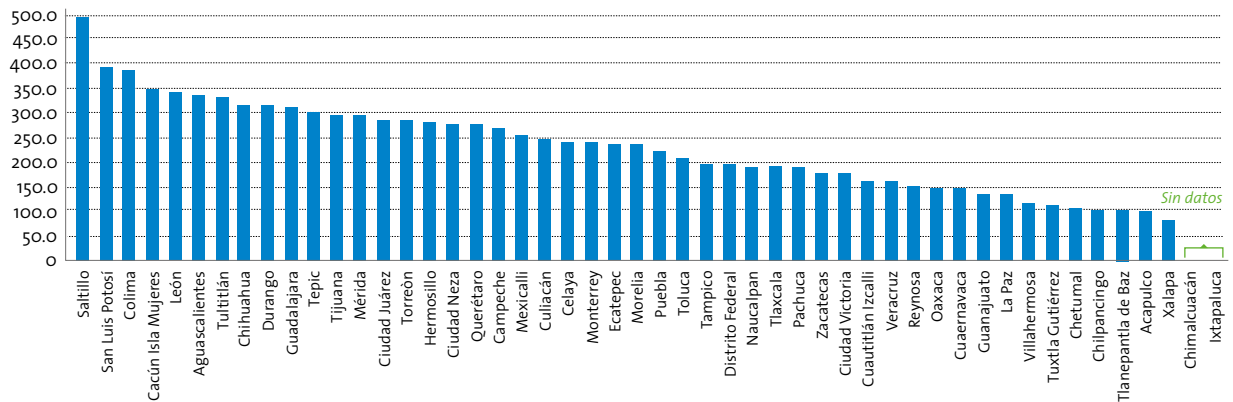
Adaptado de: INEGI, 2010.

Gráfica 2. Distribución del factor de continuidad de 50 ciudades mexicanas



Fuente: CCA, 2011.

Gráfica 3. Distribución del factor de productividad entre 50 ciudades mexicanas



Fuente: CCA, 2011.

únicamente para la media nacional y para los 32 estados de la República. En los datos se observa que los estados de Baja California, Chihuahua, Quintana Roo, Nuevo León y Tamaulipas es donde existe un servicio mejor de agua, ya que la frecuencia en más de 95% de las viviendas se da de manera diaria. En contraste, los estados de Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Puebla son los que tienen peor servicio, con gran cantidad de viviendas con un servicio esporádico de agua de una o dos veces a la semana, a pesar de que son entidades localizadas en la zona de mayor disponibilidad de agua en el país.

La Gráfica 2 muestra la distribución de un factor de continuidad (Sandoval, 2012), es decir, el porcentaje de conexiones que reciben agua las 24 horas del día los 7 días de la semana, de acuerdo con información de los propios sistemas de servicios públicos.

La Gráfica 3 muestra la distribución de un “factor de productividad” que toma en cuenta el número de conexiones por operador del sistema de agua entubada. Se observa que casi la mitad de la muestra se mantiene por debajo de niveles aceptables. En este caso, el contexto topográfico de cada ciudad y la complejidad de las redes pueden jugar un papel, pero este indicador se debe principalmente a la existencia de fuertes sindicatos en algunas regiones del país que dificultan la optimización de la fuerza de trabajo (Sandoval, 2012).

En la Gráfica 4 se muestra el porcentaje de conexiones con medidor. Casi dos terceras partes de las ciudades no alcanzan 80 por ciento de conexiones con medidor. A partir de la información anterior, Sandoval (2012) señala que:

- Las estadísticas nacionales de la cobertura de servicios, medida en términos de conexiones domiciliarias que hacen posible el suministro de agua potable y la descarga de aguas residuales, indican que es alta, pero cuando se analiza la continuidad del servicio, los números varían mucho.
- Existen diferencias notables en cuanto a la productividad laboral y la eficiencia comercial. Las ciudades situadas en la parte norte del país muestran los mejores indicadores.

4.3 Gestión y administración de las fuentes de agua

4.3.1 La estructura del servicio de agua

En los últimos años, México ha experimentado profundas transformaciones en la política del agua. Estos cambios comienzan en la década de los ochenta, cuando se manifiesta con claridad la decisión del Estado mexicano de descentralizar la prestación del servicio público de agua potable. El primer paso ocurrió en 1980 cuando el Gobierno federal entregó a los gobiernos estatales la operación de los sistemas de agua potable y alcantarillado, que en algunos casos fue transferida a su vez por los estados a los ayuntamientos (Castro *et al.*, 2004).

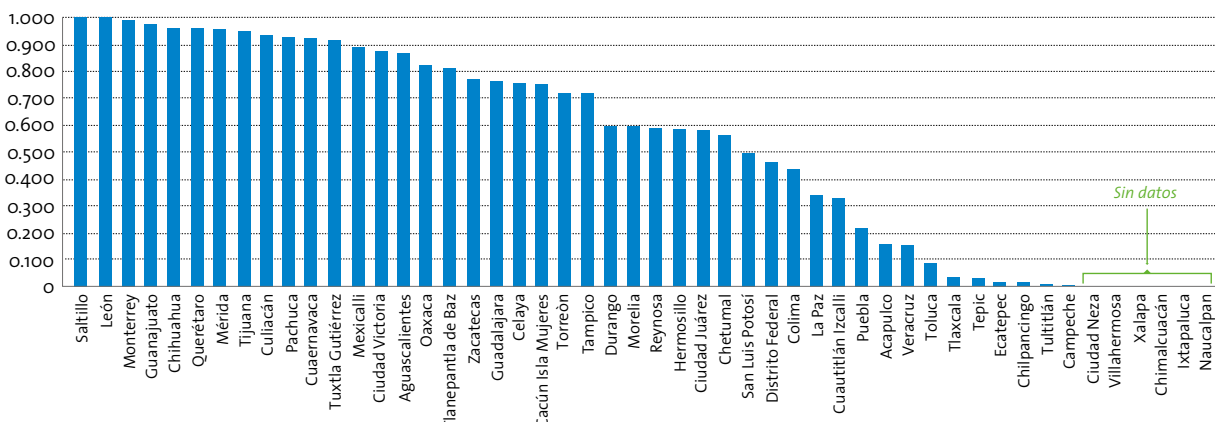
Después, en 1983, se dio una municipalización del servicio de agua potable, al aprobarse el 3 de febrero una reforma constitucional al Artículo 115 que definió que los servicios de agua potable eran responsabilidad de los municipios. Ello tuvo como consecuencia la devolución y descentralización de la admi-

nistración, infraestructura e inversión para el agua potable que pasaron de manos del Gobierno federal a manos de los gobiernos estatales y municipales.

El 16 de enero de 1989 el presidente Salinas creó la Comisión Nacional de Agua (CNA) como un organismo descentralizado. Hacia finales de ese año propuso la descentralización, autonomía y el impulso a la participación privada en la operación de los servicios, con una participación de los ciudadanos. En 1992 se aprobó una nueva Ley de Aguas Nacionales que tenía, entre otros propósitos, fortalecer la concesión de derechos de usos y favorecer la administración privada del agua. También se crearon dos organismos nuevos: los Consejos de Cuenca, entendidos como un nuevo ámbito de manejo del agua que involucraba a los diversos sectores y autoridades locales, y el registro público de derechos de agua, que tenía como propósito estimular una circulación mercantil de los derechos del agua concesionados por la CONAGUA. Asimismo, esta Ley hacía explícito el interés para que la sociedad participara en distintos ramos: pagando más por los servicios, creando una nueva cultura del agua o invirtiendo en capitales (Aboites, 2004).

Con las reformas legales de 1992 se profundizaron las políticas de descentralización y participación privada en el sector, reorientando de manera radical el papel de las instituciones públicas en el manejo y administración del recurso. Asimismo, se llevó a cabo la transferencia de los distritos de riego a los usuarios de los mismos. Los distritos se dividieron en módulos de riego de acuerdo con la red secundaria, redes y caminos, y en cada uno de ellos se constituyó

Gráfica 4. Distribución del porcentaje de conexiones con medidor a nivel del hogar de 50 ciudades mexicanas



una Asociación de Usuarios a los que la CONAGUA otorgó un Título de Concesión de agua y de Uso de la Infraestructura (Castro *et al.*, 2004).

Los programas estatales generalmente reflejan las políticas federales acentuadas por la negligencia frecuente del nivel estatal en tomar un papel más amplio en la regulación del agua y el saneamiento, y en la ausencia de capacidad. Aunque ciertamente algunos estados han establecido programas de inversión con apoyo del Gobierno federal, por un lado, para apoyar la ampliación en la cobertura de los servicios y, por el otro, para promover la mejora de la eficiencia en el uso de agua y energía, así como para el desarrollo empresarial (Sandoval, 2012).

4.3.2 Mecanismos de organización y/o nuevas tecnologías innovadoras para proporcionar servicios a las zonas urbanas

La CONAGUA asigna fondos federales por medio de un conjunto de programas de inversión, cada uno con reglas de funcionamiento particulares que suelen variar ligeramente de un año a otro y que además tienen que ajustarse a las reglas definidas también por las autoridades estatales. En los últimos años, los principales programas han sido:

- a. APAZU (Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en las Zonas Urbanas), creado en 1990 para apoyar los proyectos estatales y municipales para la ampliación y mejora de los servicios de agua.
- b. PAL (Programa de Agua Limpia), implementado desde 1991, que tiene como objetivo incrementar y mantener, mediante la cloración, los niveles de desinfección del agua que se suministra a la población, de modo que reúna condiciones aptas para uso y consumo humano.
- c. PROSSAPYS (Programa de Sostenibilidad de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento en Zonas Rurales), implementado en 1999, con énfasis en la ampliación de la cobertura de los servicios en las localidades con menos de 2 mil 500 habitantes.
- d. PROMAGUA (Programa de Modernización de Organismos Operadores de Agua), implementado en 2001 para apoyar a los servicios públicos en las ciudades con más de 50 mil habitantes, donde se promueven esquemas de participación privada.
- e. PRODDER (Programa de Devolución de Derechos), que tiene como objetivo coadyuvar a la realización de acciones de mejoramiento de eficiencia y de infraestructura de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales de municipios, mediante la asignación a los prestadores de los servicios de agua potable y saneamiento de los ingresos federales que se obtengan por la recaudación de los derechos por la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales.
- f. Programa de apoyo al Valle de México para proyectos de agua y saneamiento, recientemente llamado “Programa para la sostenibilidad del agua para el Valle de México”, cuenta con el apoyo de fondos federales, además de los recursos obtenidos de los servicios públicos que reciben el suministro de agua de la infraestructura de CONAGUA (Cutzamala, Lerma y los pozos operados por la organización federal); los fondos se gestionan a través de un fideicomiso establecido originalmente para la ejecución de un crédito internacional.
- g. PROTAR (Programa para el Tratamiento de Aguas Residuales), cuyo antecedente es que fue creado para apoyar a los programas de inversión de las empresas de servicios públicos en la construcción, mejora y ampliación.
- h. PROSANEAR (Programa Federal de Saneamiento de Aguas Residuales), en el que se crea un incentivo fiscal, mediante la cancelación o la exención de las autoridades municipales del pago de derechos de descarga de aguas. Se han asignado fondos para apoyar los costos de operación de tratamiento de aguas residuales a los servicios públicos que muestran el pleno cumplimiento de las normas de descarga.
- i. PROME (Programa para la Mejora de la Eficiencia de los Servicios Públicos de agua) bajo un programa de asistencia técnica suscrito con el Banco Mundial (llamado “PATME”), con el objetivo de fortalecer el desarrollo técnico y la autosuficiencia financiera de un conjunto seleccionado de los servicios públicos. Tiene un componente para mejorar la capacidad de la CONAGUA para recolectar la información y la evaluación de la evolución del sector y para “modernizar” los servicios de las empresas de servicios públicos, llevando asistencia y evaluación técnica, así como un programa de inversión “clásica”, basada en la evaluación y el diagnóstico, con algunas acciones ejecutadas en el marco de un plan de desembolsos basado en los resultados.

La mayor parte de los fondos se asignan mediante la transferencia de recursos a las autoridades estatales o municipales, en virtud de un acuerdo de coordinación donde los ejecutores se comprometen a seguir las normas federales.

El crecimiento de la demanda de agua en las áreas metropolitanas plantea un enorme desafío tanto para las autoridades locales como para las federales, por lo que se han desarrollado proyectos estratégicos. La Tabla 6 muestra los más importan-

Tabla 6. Proyectos estratégicos de infraestructura urbana de agua, alcantarillado y limpieza

Categoría	Proyecto	Área metropolitana o ciudad	Inversión (millones de USD aprox.)	Estatus Nov. 2012
Valle de México	Nuevas fuentes	México	353	Estudios
	Sistema Cutzamala	México	547	En construcción
	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Atotonilco	México	794	En construcción
	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Caracol	México	61	En construcción
	Túnel Emisor Oriente (TEO)	México	1574	En construcción
	Obras de alcantarillado	México	246	En construcción
	Túnel del Río Compañía	México	150	Concluido
	Túnel del Río de los Remedios	México	62	Concluido
	Tubería del Canal Principal	México	38	Concluido
Presas y acueductos	Presa El Zapotillo	León - Guadalajara	349	En construcción
	Acueducto El Zapotillo	León	666	En construcción
	El Purgatorio	Guadalajara	449	En proceso de licitación
	Presa El Realito	San Luis Potosí-Celaya	82	Concluido
	Acueducto El Realito	San Luis Potosí	191	En construcción
	Mejoramiento de la gestión integral del agua	San Luis Potosí	71	En construcción
	Presa Paso Ancho	Oaxaca	73	En preparación
	Acueducto Paso Ancho	Oaxaca	132	En preparación
Acueductos	Monterrey VI	Monterrey	1112	En preparación
	Independencia	Hermosillo	310	En construcción
	Acueducto II	Querétaro	221	Concluido
	Agua Futura	Durango	128	En preparación
	Río Colorado - Tijuana	Tijuana	115	Concluido
	Conejos-Médanos	Cd. Juárez	103	Concluido
	Chicbul-Ciudad del Carmen	Cd. del Carmen	82	En construcción
	Actopan - Pachuca	Pachuca	62	En preparación
	Picachos - Mazatlán	Mazatlán	33	En preparación
	Paso de Vaqueros	San Luis de la Paz	9	En construcción
	Tratamiento de aguas residuales	Obras de alcantarillado	Guadalajara	286
Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Agua Prieta		Guadalajara	202	En construcción
Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Ahogado		Guadalajara	67	Concluido
Saneamiento del Río Atoyac		Puebla and Tlaxcala	66	En construcción
Saneamiento del Río Apatlaco		Morelos (Cuernavaca)	130	En construcción
Saneamiento Integral Acapulco		Acapulco	57	En construcción
Proyectos de desalación		Ensenada	Ensenada	40
	Otros proyectos	Seven cities	251	En preparación
Total			9112	

Fuente: (CONAGUA, 2012e) – Millones de pesos, noviembre de 2012.

tes en donde el monto de la inversión es superior a 9 millones de dólares. La mayoría de los proyectos han sido implementados junto con programas de desarrollo de capacidades, para mejorar el rendimiento de los servicios públicos y para que los proyectos sean financieramente viables.

4.3.3 Indicadores de eficiencia de los organismos operadores

En la Gráfica 5 se muestran la eficiencia física y la comercial de los organismos operadores según el tamaño de la localidad. Como se observa, cuanto mayor es la población urbana mejores son las eficiencias tanto comerciales como físicas. Las mayores eficiencias las encontramos en las ciudades de más de un millón de habitantes.

La inversión ejercida en el año 2011 fue de 2,911,300 USD (37,474.9 millones de pesos); de éstos 83.1% fue para zonas urbanas y el resto para zonas rurales (CONAGUA, 2012b).

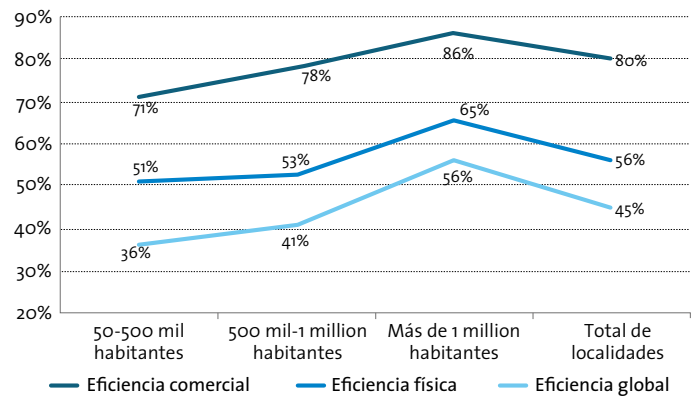
En las zonas urbanas, los recursos se aplicaron para agua potable (19.3%), alcantarillado (37.5%), saneamiento (22.3%), mejoramiento de la eficiencia (14.7%) y otros conceptos (6.2%). Pero tan sólo el Estado de México, el Distrito Federal y su Zona Metropolitana absorbieron 9.7 miles de millones de pesos. De éstos, 31 mil millones se destinaron a la construcción y rehabilitación de obras de agua potable, alcantarillado y saneamiento; 15,688.4 millones provinieron del Gobierno federal; 5,907.2 millones de los gobiernos estatales; 3,456.7 de los gobiernos municipales y 6,076.7 millones de otros conceptos. En estas zonas se encuentra cerca de 30% de la población total del país.

4.3.4 Financiamiento y administración del agua en México

En México, la infraestructura de agua es financiada mediante:

- Los aranceles, con una capacidad limitada de generar recursos de inversión de capital.
- Los impuestos, los cuales vienen de los capítulos a los gastos municipales, las transferencias federales o estatales, ya que los impuestos locales como impuestos a la propiedad son raramente aplicados a las inversiones de capital para el agua en las ciudades, en parte debido a la existencia de las transferencias mencionadas.
- Transferencias, de manera directa como capítulos específicos en los impuestos federales son

Gráfica 5. Eficiencias físicas y comerciales según tamaño de la localidad



Fuente: CONAGUA, 2012c.

asignados sobre una base regular, así como en la forma de programas estatales y federales, por lo general asociados con un conjunto de reglas de operación que indican compromisos técnicos, administrativos y financieros que se esperan de la parte de la utilidad o del municipio.

- Crédito, que está sólo en el alcance directo de los pocos servicios públicos que operan con estructuras financieras sanas y una estabilidad razonable; pero recientemente ha habido importantes esfuerzos para apoyar algunos esquemas de participación privada, junto con el capital de riesgo y las subvenciones, en los que el Gobierno federal o estatal llevan generalmente los compromisos financieros, en lugar de la municipalidad o la utilidad.
- La inversión privada directa, la cual con la excepción de “Aguas de Saltillo” es rara (Sandoval, 2012).

Las tarifas aplicadas para el cobro del servicio de agua potable para uso doméstico se presentan en la Tabla 7, para las principales ciudades del país en los años 2011 y 2012. En la tabla se observa que en ocho de las ciudades no se modificaron las tarifas para el cobro del servicio de agua; las otras 24 presentaron incrementos. Dentro de este grupo de 24 ciudades destacan los casos de Aguascalientes, León, Xalapa y municipios de la Zona Metropolitana del Valle de México como Naucalpan y Atizapán, en donde se registraron incrementos de entre 7 y 15%, aun cuando sus tarifas por metro cúbico eran ya de las más altas del grupo de ciudades presentado.

Tabla 7. Variación porcentual de las tarifas de agua para consumo doméstico en las principales ciudades de México (2011-2012)

Ciudad	2011	2012	Variación de la tarifa (\$)	% a/
Acapulco	9.3	10.4	1.1	12
Aguascalientes	17.8	19.2	1.4	7.7
Atizapán	13.5	15.2	1.7	12.9
Campeche	1.8	1.8	0	0
Cancún	9.9	9.9	0	0
Chetumal	9.9	9.9	0	0
Colima	4.2	4.3	0.2	4.1
Culiacán	4.5	4.9	0.4	9.1
Delicias	5.4	5.4	0	0
Mexico City	15.6	16.2	0.6	3.6
Ensenada	13.8	14.2	0.5	3.5
Gómez Palacio	7.1	7.4	0.3	4.1
Guadalajara	5.6	5.8	0.2	4
Hermosillo	4.7	4.7	0	0
Juárez	5.8	5.8	0	0
La Paz	7.6	8.3	0.7	9.3
León	15.5	16.8	1.4	8.7
Mérida	3.9	3.9	0	0
Mexicali	4.5	4.6	0.1	2.9
Monterrey	8.2	10.2	2	23.8
Morelia	18.3	18.3	0	0
Naucaupan	13.5	15.4	2	14.6
Oaxaca b/	1.6	4.4	2.8	172.8
Puebla	10.1	10.5	0.3	3.5
San Juan del Río	5.3	5.5	0.2	4.2
San Luis Potosí	7	7.7	0.8	10.8
Tijuana	17.3	18	0.6	3.5
Tlaxcala	4.9	5.1	0.2	4.3
Toluca	8.7	9.5	0.7	8.4
Torreón	7.7	8	0.4	4.7
Tula de Allende	3.8	4.6	0.9	22.8
Xalapa	9.4	10.1	0.7	7

Esta información se basa en un consumo de 30 m³ mensuales, volumen considerado como suficiente para que una familia cubra sus necesidades básicas. Fuente: CONAGUA, 2013b

4.4 Ahorro de agua en las ciudades, el uso eficiente del agua y nuevos diseños de bajo consumo de agua

Como se observa en el Mapa 8 son pocos los municipios donde se ha dado una disminución en los consumos consuntivos de agua entre los años 2005 y 2009. En contraste, son varios los municipios en donde el incremento ha sido de más de 10%. Desgraciadamente, este dato incluye todos los usos consuntivos y no sólo el uso público urbano, que sería el de mayor interés para conocer las tendencias en las ciudades.

5. Tratamiento de agua residual

En materia de alcantarillado, al 31 de diciembre de 2012 se registró una cobertura nacional de 90.5%, como resultado de incorporar por primera vez al servicio a 1.5 millones de habitantes (CONAGUA, 2013b). Sin embargo, la población que no cuenta con el servicio todavía asciende a 10.9 millones de habitantes, 200 mil menos que en 2011 (ver Tabla 8). A nivel de entidad federativa, 17 estados de la República Mexicana registran una

cobertura superior al promedio nacional, sobresalen el Distrito Federal y Colima con coberturas superiores a 98%; en contraste, Yucatán, Guerrero y Oaxaca presentan coberturas inferiores a 80%.

En el país existen 2 mil 342 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación formal con una capacidad total instalada de 140.1 m³/s y un caudal tratado de 99.7 m³/s. Se estima que se ha alcanzado una cobertura de tratamiento de 47.5% del total de agua residual colectada. Del año 2000 al 2011

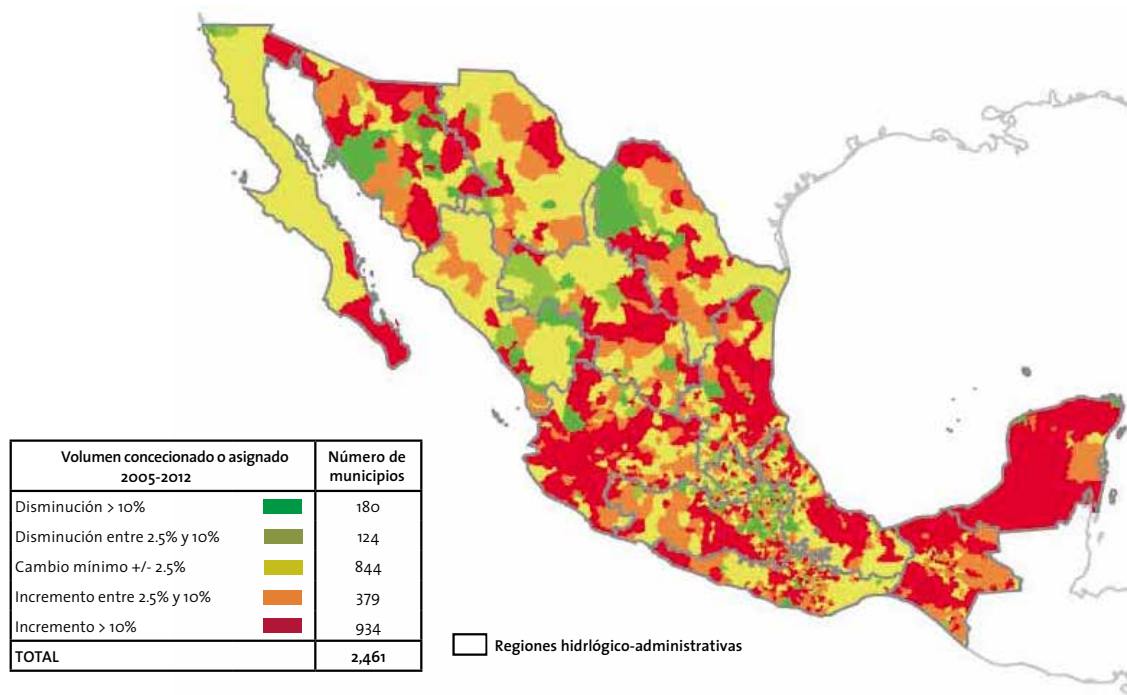
la cobertura de tratamiento de aguas residuales se duplicó. Sobresalen Aguascalientes, Baja California, Nuevo León, Tamaulipas y Guerrero con coberturas de tratamientos por encima de 75% del agua tratada, y negativamente destacan por su baja capacidad de tratamiento los estados de Yucatán, Hidalgo, Campeche, Tabasco y Chiapas. La Tabla 9 recoge las diez zonas urbanas con una mayor capacidad instalada y caudal tratado; entre éstas destacan Monterrey, la Ciudad de México, Chihuahua y Juárez.

Tabla 8. Evolución de las cobertura de alcantarillado en zonas urbanas, 1990 a 2012

Año	Población total en viviendas particulares	Habitantes (millones)			Porcentaje de cobertura
		Con servicio	Sin servicio	Beneficiados	
1990	57.3	45.3	12		79
1995	66	58.5	8.1	13.3	87.8
2000	71.1	63.8	7.4	5.2	89.6
2005	76.1	71.9	4.2	8.1	94.5
2010	84.7	81.6	3.2	9.7	96.3
2010*	85.4	82.2	3.2	0.7	96.3
2011*	86.8	83.6	3.1	1.4	96.4
2012*	87.9	84.8	3.1	1.3	96.5

Nota: Los porcentajes y sumas pueden no coincidir por el redondeo de las cifras. *Información a diciembre determinada por la CONAGUA. Fuente: CONAGUA, 2013b, a partir de los datos de los Censos de Población y Vivienda 1990, 2000 y 2020; Censos de Población y Vivienda 1995 y 2005.

Mapa 8. Evolución de usos consuntivos por municipio en el periodo 2005-2012



Fuente: CONAGUA, 2013.

Tabla 9. Caudal tratado en las principales localidades de más de 50 mil habitantes

Estado	Localidad	Población	Número de plantas de tratamiento	Capacidad instalada (l/s)	Caudal tratado (l/s)
Nuevo León	Monterrey	3,702,161	13	10,030	8,728
Distrito Federal	Ciudad de México	8,609,001	25	6,685	3,148
Chihuahua	Chihuahua	831,211	3	3,705	2,222
Chihuahua	Juárez	1,360,865	4	3,551	2,551
Baja California	Tijuana	1,619,270	14	3,095	2,796
Veracruz	Veracruz	576,437	28	2,986	1,620
Baja California	Mexicali	777,404	5	2,797	1,946
Puebla	Puebla de Zaragoza	1,830,376	5	2,620	2,060
Guerrero	Acapulco de Juárez	685,336	15	2,240	1,937
Coahuila	Torreón	621,541	5	2,125	1,561

Fuente: CONAGUA, 2012c.

5.1 Sistemas de tratamiento

El método más utilizado, en términos del número de plantas en el país, es el de lagunas de estabilización, aplicado en 732 plantas equivalentes a 31.2% del total de las mismas. Le sigue el de lodos activados que se aplica en 698 plantas, 29.8% del total, en tercer lugar figura el proceso de RAFA (Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente), que se utiliza en 188 plantas que equivalen a 8%. Estas cifras contrastan cuando se analiza el caudal tratado. En este caso los sistemas que predominan por su importancia son lodos activados que tratan 46% del agua residual colectada, lagunas con 16% y tratamiento primario avanzado con 11% (CONAGUA, 2012c).

5.2 Reúso y reciclado

El Gobierno mexicano a través de CONAGUA cuenta con un programa para promover el reúso de aguas residuales. Se trata del Programa de Reúso e Intercambio de Agua Residual Tratada de la CONAGUA, cuyo objetivo es “dar cumplimiento al manejo integral y sustentable del agua, establecido en el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, en lo relativo al manejo y preservación del agua, para lograr el bienestar social, el desarrollo económico y la preservación de la riqueza ecológica de nuestro país”. Actualmente, el Gobierno se encuentra en proceso de consolidar acciones relativas al fomento en el reúso del agua residual tratada en el país, así como su intercambio por agua de primer uso en aquellas actividades en que esta opción sea viable y factible. Asimismo, se ha propiciado

la participación tanto del sector público como del privado en el tratamiento y reúso de las aguas residuales de diferentes actividades productivas, considerando los usos agrícolas, riego de áreas verdes, procesos industriales de enfriamiento y limpieza y servicios municipales secundarios. En lo que respecta al intercambio de agua residual tratada por agua de primer uso, ésta se emplearía en la agricultura y en la industria, entre otros usos, para con ello dejar de explotar agua subterránea y/o superficial y, por consiguiente, el agua de primer uso economizada se utilizaría para proporcionar el servicio a las ciudades e industrias en crecimiento.

Otra de las acciones de fomento que se ha llevado a cabo por la CONAGUA consiste en que los organismos operadores de sistemas de agua para uso doméstico que decidan obtener el beneficio de los programas federales, deben incluir en sus acciones de Construcción, Ampliación Rehabilitación, Proyectos y Estudios, actividades de reúso e intercambio de aguas residuales tratadas, tal como se tipifica en las Reglas de Operación para los programas de Infraestructura Hidroagrícola y de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, aplicables a partir de 2012.

En materia de reúso de aguas, desde 2007 los logros obtenidos han sido superiores a las metas programadas, haciéndose más patente esta diferencia en el año 2011 cuando se reusaron 2,700 m³/s más que los programados (Tabla 10).

Durante los dos primeros años del programa, la meta de intercambio de aguas residuales tratadas

fue ligeramente superada; no sucedió así en 2009 y 2010, pero en 2011 la meta establecida volvió a superarse en 600 l/s al crecer el uso de agua tratada en actividades industriales, dejando de utilizarse agua de primer uso en actividades diferentes al consumo doméstico.

Mientras que las aguas grises o pluviales poco se tratan en México, normalmente se mezcla el agua de colectores pluviales con el de colectores sanitarios y se tratan conjuntamente en las plantas de tratamiento como aguas negras.

5.2.1 Ejemplos de la reintegración del agua en los ecosistemas. Reúso y reciclado en la Ciudad de México

En un estudio de Jiménez (2013) se reporta que, para hacer frente al reto de satisfacer una demanda creciente de agua en la Ciudad de México, los servicios de agua locales que también gestionan las aguas residuales han puesto en práctica diferentes proyectos de aprovechamiento de aguas de reúso para fines municipales e industriales, algunos de los cuales han estado en funcionamiento desde 1956. Además, el Gobierno federal ha sido responsable de un programa de reutilización de agua en la Ciudad de México y de una segunda cuenca para el riego agrícola desde 1920.

En la actualidad, por lo menos 260 l/s de agua se vuelven a utilizar para suministrar diferentes industrias en la ciudad de México. La limitante para incrementar el reúso es su costo, ya que el agua residual tratada es más cara que el agua de primer uso y no hay una reglamentación que exija a las empresas utilizar agua regenerada. Se estima que con un marco legal de reutilización industrial adecuado se podría incrementar un adicional de 1,000 l/s.

Además, se suministran 1,300 l/s de agua de reúso a unas plantas de producción de energía para enfriamiento. Casi 2,000 l/s se utilizan para el riego de zonas verdes, la recarga de lagos recreativos y agricultura; dentro de la ciudad, 1,200 l/s para la recarga de las aguas subterráneas y 175 l/s para el lavado de coches.

Los nuevos centros de servicio de autolavado se ven obligados a utilizar el agua regenerada. Además, una planta de tratamiento produce 600 l/s para fines ecológicos que consiste en la recarga del ex lago de Texcoco, que fue secado por los españoles durante la época colonial.

Los últimos proyectos públicos de reúso planificado importantes comenzaron a funcionar a finales de la década de 1980. La cantidad de agua reutilizada de las plantas públicas representa 10% de la oferta total. Además, a pesar de que no están registradas oficialmente, varias docenas de plantas de tratamiento privadas reúsan el agua en clubes deportivos, campos de golf y escuelas, para el riego del césped o para la descarga de inodoros. La reutilización privada no está controlada por el Gobierno.

El resto de las aguas residuales producidas en la Ciudad de México, alrededor de 60,000 l/s, se utiliza todo y sin ningún tratamiento para el riego de 90 mil hectáreas en el Valle de Tula, el cual se encuentra a 100 km al norte de la Ciudad de México. El riego se ha realizado por más de 110 años y, como resultado de su empleo, el agua residual se infiltra (más de 25 000 l/s) al acuífero. Este acuífero aporta el agua de diversos manantiales que se utilizan para abastecer a las 500 mil personas que viven en el valle de Tula. A pesar de su origen, el agua ha demostrado ser de calidad aceptable (Jiménez y Chávez, 2004) gracias a varios mecanismos de tratamiento de origen na-

Tabla 10. Metas 2007 a 2012 en cuanto al reúso de aguas residuales tratadas (l/s)

Año	Metas	
	Programada	Actual
2007	20,000	20,100
2008	21,000	21,500
2009	21,500	21,700
2010	22,000	22,400
2011	22,500	25,200
2012	23,000	25,200

Fuente: CONAGUA, 2013b.

Tabla 11. Metas 2007 a 2012: intercambio de aguas residuales tratadas (m³/s)

Año	Metas	
	Programada	Actual
2007	5	5.3
2008	5.5	5.7
2009	6	5.7
2010	6.5	6.2
2011	7	7.6
2012	7.5	7.8

Fuente: CONAGUA, 2013b.

tural que se producen durante su transporte, el almacenamiento y la infiltración en el suelo. De hecho, se ha demostrado que algunos contaminantes, como los metales pesados y contaminantes emergentes, permanecen en los suelos agrícolas durante varios años o incluso décadas (Siebe, 1995, Gibson, 2007 y Durán, 2009 en Jiménez, 2013).

5.2.1.1 Normas “WQ” y Tecnología Tratamiento

Con respecto a las normas, Jiménez (2013) explica que la reutilización de aguas residuales para la agricultura ha sido regulada desde la década de 1980. Estos estándares fueron modificados en 1986 (NOM-001-SEMARNAT 1986) para adecuar las características de calidad del agua residual tratada que se descarga al ambiente. En el caso del uso para riego agrícola, con el objeto de controlar los riesgos para la salud, se limitó el contenido de coliformes fecales a 10^3 NMP/100 ml y de huevo de helmintos a 1/l para todo tipo de riego y 5 huevos de helmintos/l para riego de cultivos que no se consumen crudos o procesados. Además, fue permitido un mayor contenido de DBO con el fin de mejorar la calidad de los suelos agrícolas, mientras que el uso de la cantidad de metales pesados se limitó a los valores establecidos por las Normas 2004 de la EPA de Estados Unidos para el reúso del agua. Como en la mayoría de los países de todo el mundo, en México no hay un estándar del Gobierno para la reutilización de agua para fines industriales. Para la reutilización de agua en usos públicos está en uso el estándar de agua NOM-003-SEMARNAT-1997, que sólo abarca restricciones para los contaminantes biológicos. Para regular la infiltración de agua reutilizada para las aguas subterráneas se ha adoptado el estándar NOM-014-CONAGUA-2003.

La reutilización planificada de las aguas residuales con fines industriales y municipales siempre se ha llevado a cabo después de al menos un tratamiento secundario junto con la filtración. El efluente producido ha demostrado ser adecuado para la mayoría de usos, excepto para la recarga de los lagos recreativos, especialmente del Lago de Xochimilco, que en la actualidad sufre de eutrofización y requeriría por ello un tratamiento avanzado.

Todas las inversiones en proyectos públicos han sido a través de la financiación pública. También se operan las plantas por parte del Gobierno en general.

Los proyectos de reutilización públicos son administrados por los servicios de agua de la Ciudad

de México y de los municipios, mientras que la reutilización del agua en los campos agrícolas fuera de la cuenca de la Ciudad de México es operada por el Gobierno federal.

6. Agua y salud en las ciudades

La provisión de agua potable y de saneamiento es un factor clave para la salud de la población, especialmente la infantil. Mediante estos servicios se coadyuva al control de la incidencia de enfermedades de transmisión hídrica como la hepatitis viral, la fiebre tifoidea, el cólera, la disentería y otras causantes de diarrea, así como posibles afecciones resultado del consumo de agua con componentes químicos tóxicos, tales como el arsénico o el flúor.

En México, la mortalidad infantil por enfermedades diarreicas se ha reducido a 8.8 por cada 100 mil en 2012 (ver Gráfica 6), como resultado de diversas acciones e intervenciones en salud pública, entre las que se encuentran la distribución de suero oral (a partir de 1984), las campañas de vacunación (a partir de 1986), el Programa Agua Limpia (a partir de 1991) y el incremento de las coberturas de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Aun habiendo logrado estos resultados, existen estados como Chiapas, Oaxaca y Guerrero con altas tasas de mortalidad, del orden de 41.6, 29.2 y 21.1 respectivamente (CONAGUA, 2011).

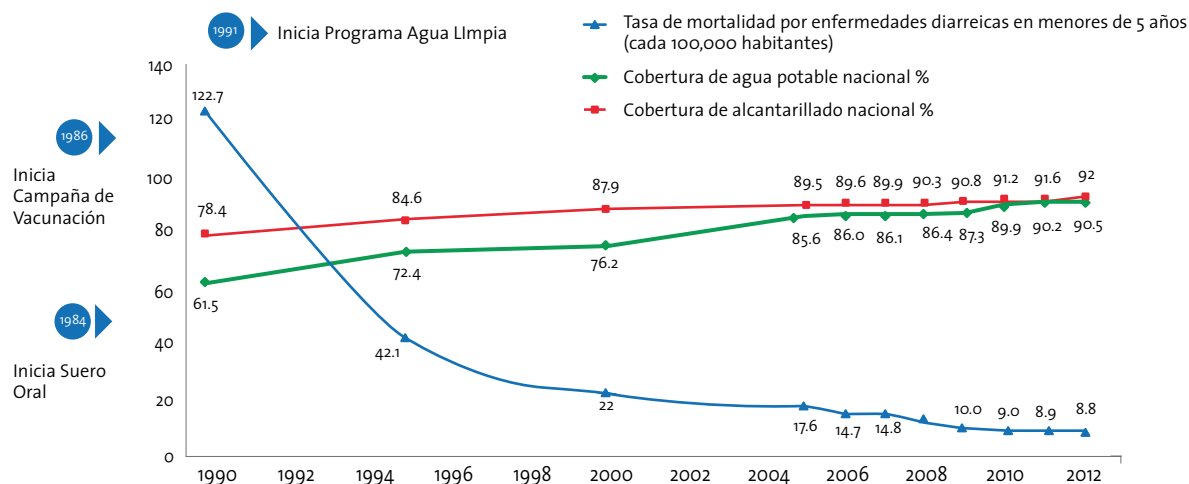
En la Gráfica 6 se muestra el comportamiento incremental de la cobertura de agua potable y alcantarillado contra la reducción en la tasa de mortalidad por enfermedades diarreicas para los menores de cinco años.

En el año 2012 se reportaron más de 6 millones de casos de enfermedades infecciosas intestinales, de donde se obtiene una tasa de 5 mil 275 casos por cada 100 mil habitantes (considerando el Censo INEGI 2010 y aplicando la proyección del CONAPO para diciembre de ese año), lo que indica crecimiento de la tasa con respecto a 2010 por el incremento de población y de casos (CONAGUA, 2013b).

6.1 Algunas cuestiones relacionadas con los problemas de salud y agua en México

Para entender más de cerca de los problemas de enfermedades ligadas al agua es importante profun-

Gráfica 6. Coberturas de agua potable y alcantarillado y tasas de mortalidad por enfermedades diarreicas en menores de cinco años, 1990-2012



Fuente: CONAGUA, 2013a.

Tabla 12. Casos registrados de enfermedades infecciosas del aparato digestivo, 2002 a 2012

Enfermedad	Número de casos por año										
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011 ^{a/-}	2012
Enfermedades infecciosas intestinales	6,831,630	6,191,011	5,351,869	5,912,952	5,765,081	5,533,670	5,500,546	5,564,841	5,705,412	6,025,664	6,045,506
Shigelosis	31,473	27,704	22,321	19,441	16,483	14,799	12,885	13,136	11,378	9,975	8,181
Cólera								0	0	1	2
Fiebre Tifoidea	7,889	20,020	25,952	31,790	37,012	44,076	44,199	46,174	44,757	48,055	54,147
Paratifoidea y salmonelosis	80,494	102,754	109,444	109,536	115,014	122,956	120,986	139,143	120,414	122,345	128,434
Infección Intestinal por virus, otros organismos y mal definidas	5,374,980	4,823,611	4,778,135	4,765,567	4,716,011	4,616,080	4,645,091	4,715,783	4,923,459	5,283,896	5,345,173
Intoxicación alimentaria bacteriana	21,659	36,057	39,947	40,559	37,987	36,121	35,887	38,555	40,903	44,467	47,165

a/ El número de casos por tipo de enfermedad NO coincide con los reportados en la edición CONAGUA 2012c, debido a que la Secretaría de Salud realizó ajustes a su información. FUENTE: Secretaría de Salud, *Boletín Epidemiológico*, Editado por el Sistema Único de Información para la Vigilancia Epidemiológica de la Secretaría de Salud (semana 52 de 2012, Información preliminar). Fuente: CONAGUA, 2013b.

dizar sobre los procesos de potabilización y desinfección que se le dan al agua de consumo humano. Existen 699 plantas potabilizadoras en operación a nivel nacional (capacidad instalada de 135.1 m³/s, CONAGUA 2013b). De los 329.8 m³/s de agua suministrada a nivel nacional, se estima que 205 m³/s, que representan 62%, provienen de fuentes subterráneas; los 124.5 m³/s restantes se obtienen de fuentes superficiales, de los cuales se procesan para su potabilización

88.8 m³/s (71%). El proceso de clarificación convencional es el más utilizado en términos del número de plantas, ya que se aplica en 206, seguido por el tratamiento por ósmosis inversa empleado en 193 plantas y, en tercer lugar, el de clarificación de patente, aplicado en 158 instalaciones.

El prestador de servicios, generalmente el municipio y por excepción la entidad federativa, es el encargado de llevar a cabo la cloración. La efectividad

del procedimiento de desinfección del agua que se suministra a la población a través de sistemas formales de abastecimiento se evalúa por medio de la determinación de cloro libre residual, que es un indicador fundamental, y cuya presencia en la toma domiciliaria indica la eficiencia de la desinfección. Los últimos datos disponibles (CONAGUA, 2013b) muestran cómo en 2012 se logró una cobertura de agua desinfectada de 97.9%.

Debido a que las fuentes de suministro reciben cantidades crecientes de contaminación, se han deteriorado y cuando reciben un proceso convencional de desinfección como es la adición de cloro, generan subproductos de desinfección conocidos genéricamente como organoclorados (Aboites *et al.*, 2008), existiendo una relación entre estos compuestos y diferentes formas de cáncer.

7. Variabilidad y cambio climático y la consiguiente influencia sobre los recursos hídricos en las ciudades

México produce alrededor de 1.5% de los gases de invernadero y, sin embargo, es uno de los países con mayores riesgos por cambio climático. En las zonas urbanas, los efectos del cambio climático se sumarán y serán potenciados por otros procesos que los harán más peligrosos, por lo que una visión prospectiva de la vulnerabilidad de las ciudades de México requiere ser integral.

Se podría suponer que las zonas de mayor vulnerabilidad son las zonas rurales, por sus condiciones históricas de pobreza y marginación. Sin embargo, algunas de las regiones de mayor vulnerabilidad son de hecho algunas de las principales ciudades, lo cual es debido principalmente a factores que incrementan su vulnerabilidad, tales como el crecimiento poblacional, la concentración urbana y la ubicación de las ciudades en zonas de escasos recursos hídricos o aun sobreexplotados, o que incrementan asentamientos en zonas de alto riesgo por impactos del cambio climático, lo que aumenta su grado de exposición. Se consideran desastres de origen climático e hidrometeorológico las sequías, inseguridad ali-

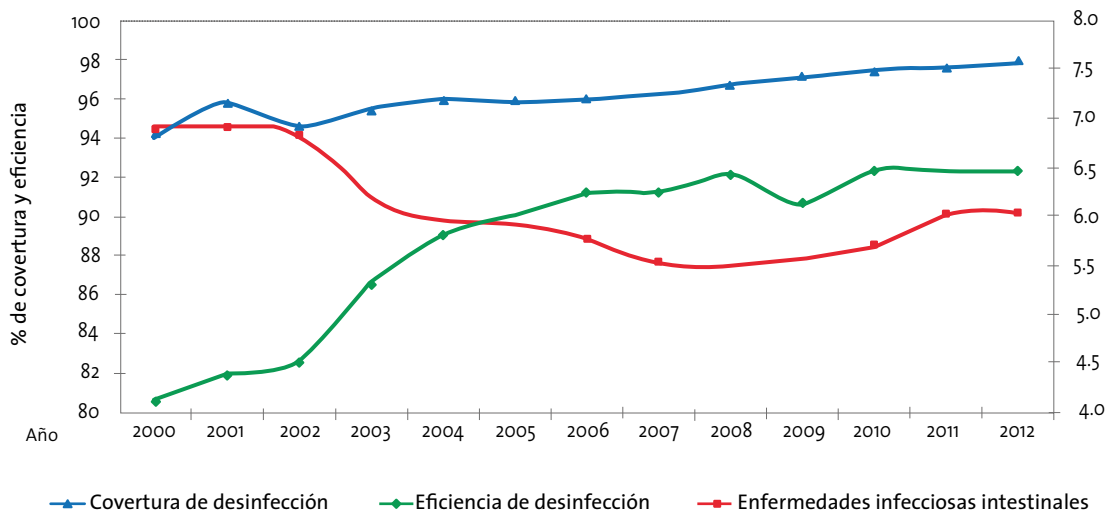
menticia por falta de agua para riego o por sequía, temperaturas extremas, inundaciones, incendios forestales, infestaciones de insectos, movimientos de tierra asociados a situaciones de origen hidrológico y las tormentas de viento. Este tipo de acontecimientos representa una porción significativa de los daños estimados ocasionados por desastres, lo que representó en 2009 daños por 35 mil 409 millones de USD, 85% del total de daños ocasionados por todo tipo de desastres.

El proceso de urbanización, que se ha estabilizado en los países desarrollados, continuará en las siguientes décadas en los países en desarrollo, como prevé la División de Población de las Naciones Unidas (UN, 2012). Así, la población urbana se incrementará 72% entre 2011 y 2050, pasando de 3 mil 600 millones de personas, a 6 mil 300 millones, respectivamente. Prácticamente la totalidad de la nueva población urbana se concentrará en las ciudades de los países menos desarrollados. Estos procesos de urbanización supondrán enormes retos regionales para la gestión del agua, dado que con muy pocas excepciones la naturaleza no provee localmente del agua necesaria para abastecer a concentraciones humanas de esa magnitud; ello sin contar con las dificultades de tratamiento y disposición de las aguas residuales resultantes, así como los subproductos del tratamiento, en particular, los lodos residuales.

Como se ha anotado antes, en México este proceso de urbanización inició aceleradamente desde los años cincuenta del siglo pasado y continuará hacia el año 2050, como se muestra en la Gráfica 9. Conforme a estas previsiones, en 2030 el país alcanzará una población urbana de cerca de 112 millones de habitantes (82.6% del total) y en 2050 de casi 124 millones (86% del total). La población urbana de México crecerá en 35.7 millones de habitantes en 2050 respecto de los datos de 2010, lo que representa una población mayor que la suma de las actuales zonas metropolitanas de la Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey y Puebla, las cuatro más grandes del país. Los retos asociados de abastecimiento y saneamiento serán enormes, y requerirán una muy eficiente gestión del agua urbana, junto con medidas de tratamiento de aguas residuales y conservación del medio ambiente, necesarias para preservar las fuentes de abastecimiento.

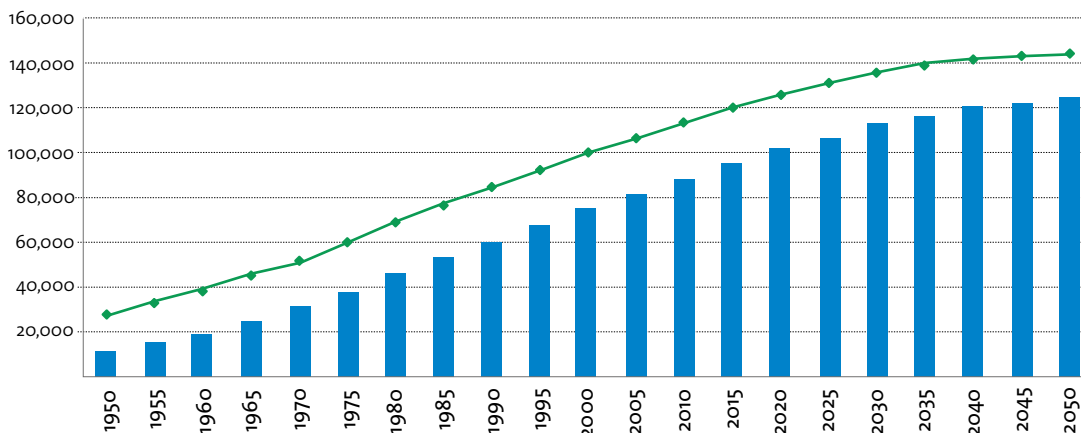
La concentración urbana en mega-urbes plantea problemas especiales. Conforme a estimaciones de

Gráfica 7. Cobertura y eficiencia de desinfección vs. Incidencia de enfermedades infecciosas intestinales, 2000 a 2012



Fuente: CONAGUA, 2013.

Gráfica 8. Población total (línea) y urbana (barras) en México para el periodo 1950-2050



Fuente: Elaboración de Polioptro Martínez con datos de la División de Población de las Naciones Unidas.

la Organización de las Naciones Unidas (UN, 2012), la población en ciudades de más de 10 millones de habitantes alcanzará más de 1 mil millones de personas, en contraste con los 148 millones de habitantes que residían en ciudades de ese tamaño en 1970. En México, hacia el año 2030, alrededor de 50% de la población habitará en apenas 31 ciudades de más de 500 mil habitantes, con altas concentraciones en las megarbes de Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey y Puebla (en el Box 1 se ejemplifica un caso relacionado con el cambio climático y los efectos en las ciudades). Muchas de estas ciudades mexicanas, como se ha

asentado anteriormente, se ubican en regiones donde ya se utilizan prácticamente todos los recursos hídricos o incluso están siendo sobreexplotados.

Sin considerar aún los efectos de cambio climático global, para 2030 algunas de las principales cuencas de México registrarán condiciones de elevado estrés hídrico. Hacia 2030, en el Valle de México se agravará la condición de escasez absoluta que ya padece. Las regiones del Río Bravo y la Península de Baja California se encontrarán en escasez extrema y la cuenca Lerma-Chapala en condiciones de escasez (menos de 1,700). Las regiones hidrológico-adminis-

trativas Balsas y Cuencas Centrales del Norte se encontrarán próximas a condiciones de escasez, misma que probablemente alcanzarán si se suman los efectos del cambio climático.

Al escenario antes descrito, que toma en cuenta básicamente cambios en la demanda de agua, habrá que sumar ahora los efectos de cambios en la oferta de agua y en riesgos hidrometeorológicos, producidos por las alteraciones al ciclo hidrológico ocasionadas por el cambio climático.

De acuerdo con el Panel Internacional de Cambio Climático (IPCC) (Bates *et al.*, 2008) se observan ya algunos efectos de cambios en temperatura y pre-

cipitación sobre los servicios de agua. Algunos de los principales cambios observados o previstos se muestran en la Tabla 13. Por lo que hace a la disponibilidad de agua en promedio anual, estudios recientes para México (Martínez Austria y Patiño Gómez, editores, 2011) estiman que a finales de este siglo se reducirá la precipitación en su territorio en alrededor de 15.2%, como se muestra en la Tabla 14.

Esta disminución de la precipitación producirá decrementos de mayor magnitud en el escurrimiento y en la recarga de acuíferos, que en última instancia determinan la disponibilidad. Esto se debe a que con un suelo más seco y mayor evapotranspiración

Tabla 13. Efectos observados e impactos posibles en servicios de agua como efecto del cambio climático

Observed effect	Observed or potential impacts
Incremento en la temperatura ambiente	Reducción de disponibilidad en cuencas alimentadas por glaciares que se están contrayendo, como se ha observado en algunas ciudades en los Andes en Sudamérica.
Incremento en temperatura del agua	Reducción en oxígeno disuelto, patrones de mezclado y capacidad de auto-purificación. Incremento en la eutrofización.
Elevación del nivel del mar	Salinización de acuíferos costeros.
Cambios en patrones de precipitación	Cambios en disponibilidad debido a cambios en la precipitación y otros fenómenos relacionados (i.e. recarga de acuíferos, evapotranspiración).
Incremento en variabilidad de precipitación interanual	Mayor dificultad para control de avenidas y uso de almacenamientos en estación de lluvias.
Incremento en la evapotranspiración	Reducción de la disponibilidad; Salinización de recursos hídricos; Niveles menores en agua subterránea
Eventos extremos más frecuentes e intensos	Avenidas que afectan la calidad del agua y la integridad de la infraestructura hidráulica, mayor erosión de cauces que introduce diferentes tipos de contaminantes a los recursos hídricos. Sequías que afectan la disponibilidad y calidad del agua.

Fuente: Bates *et al.*, 2008.

Villahermosa, Tabasco. Imagen cortesía de Jordi Vera



de la vegetación natural, ocasionados por mayores temperaturas, una mayor parte de la precipitación será retenida y evaporada en suelo y vegetación, sin alcanzar ríos y otros cuerpos de agua superficiales o subterráneos. Para tener una idea de esta proporción, se pueden citar como ejemplo las estimaciones realizadas para la cuenca del Río Conchos, subcuenca del Río Bravo, que muestran que mientras la precipitación disminuirá en promedio 20% hacia finales de siglo, el escurrimiento se reducirá en 27% (Rivas *et al.*, 2010).

En cuanto a la reducción de oxígeno disuelto en cuerpos de agua por efecto de una mayor temperatura, ésta parece ser la causa, combinada con menores volúmenes disponibles, de los florecimientos de algas cianófitas en la presa Valle de Bravo, que alimenta al sistema Cutzamala, y que obligó al tratamiento adicional con grandes cantidades de carbón activado antes del envío de esa agua a la zona metropolitana de la Ciudad de México (CONAGUA, 2012d).

El mayor riesgo asociado al cambio climático para las ciudades mexicanas, desde el punto de vista hídrico, es la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos, en especial sequías e inundaciones.

Por lo que toca a las inundaciones, en el año 2010 tan sólo el costo de los daños ocasionado por fenómenos hidrometeorológicos extremos ascendió a 6,412,270,000 USD. Los daños ocasionados por las tormentas tropicales de 2013 se encuentran aún sin cuantificar, pero considerando los datos previos de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público y de las empresas de seguros, podrían alcanzar fácilmente una cifra similar.

En la Tabla 15 se muestran los daños por estos fenómenos ocasionados entre 1999 y 2010, en pérdidas de vidas humanas y daños materiales. Como puede observarse, existe una tendencia a que el costo de los daños de los desastres hidrometeorológicos sea cada vez mayor. En el periodo de 2005 a 2010, de los once analizados, ocurrieron los cinco desastres más costosos del periodo.

El valor de estos daños se encuentra asociado principalmente a los efectos en ciudades. Así, por ejemplo, el récord de 2010 se debe en buena medida al monto de los daños en la zona metropolitana de Monterrey, Nuevo León. En ese año, en ese estado, los daños del huracán Alex representaron 2.45% del PIB estatal (CENAPRED, 2012).

Tabla 14. Disminución porcentual de precipitación por efecto del cambio climático

Estado	Disminución proyectada en el periodo 2060-2090 en porcentaje		
	Invierno	Verano	Anual
Aguascalientes	22.20	6.53	13.00
Baja California	28.70	13.80	21.28
Baja California Sur	28.73	18.10	18.01
Campeche	13.83	28.09	17.61
Coahuila	12.64	19.90	12.92
Colima	24.68	7.07	14.43
Chiapas	16.40	7.91	12.45
Chihuahua	20.48	15.25	14.24
Federal District	20.14	12.82	12.86
Durango	28.06	8.69	15.59
Guanajuato	21.12	7.04	12.30
Guerrero	18.54	12.65	11.86
Hidalgo	18.22	13.05	13.25
Jalisco	22.73	12.48	14.45
Mexico	21.49	12.68	13.05
Michoacán	20.70	11.68	12.84
Morelos	20.69	13.76	12.84
Nayarit	28.37	10.82	16.28
Nuevo León	13.28	11.02	12.72
Oaxaca	17.57	19.01	13.67
Puebla	15.96	16.38	13.18
Querétaro	19.40	10.04	12.45
Quintana Roo	13.11	29.26	17.65
San Luis Potosí	16.81	6.80	11.30
Sinaloa	31.58	9.55	17.05
Sonora	28.47	20.15	21.26
Tabasco	10.95	27.04	16.18
Tamaulipas	14.06	18.05	14.88
Tlaxcala	16.78	15.62	12.37
Veracruz	12.82	19.96	13.93
Yucatán	16.65	26.81	18.87
Zacatecas	23.07	6.33	13.13
Nacional	20.00	15.76	15.15

Fuente: Montero *et al.*, 2010.

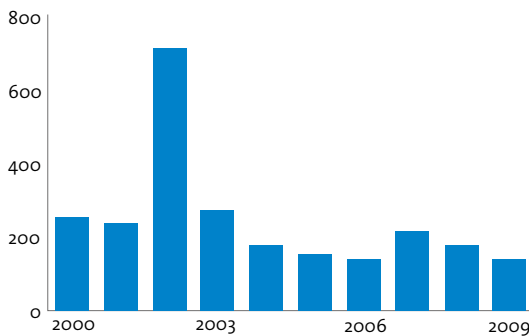
La sequía es uno de los fenómenos naturales que producen mayores pérdidas de vidas, daños económicos, retrasos en el proceso de desarrollo social y afectaciones al medio ambiente. No obstante, como asienta el informe de riesgos 2011 de la ONU, uno de los problemas principales en la gestión de sequías es que sus impactos no son registrados o no son adecua-

Tabla 15. Daños ocasionados por desastres hidrometeorológicos en México

Año	Muertes	Daños Millones de dólares*
1999	480	901
2000	100	157
2001	163	188
2002	120	836
2003	138	331
2004	104	55
2005	203	3,503
2006	220	340
2007	187	3,839
2008	148	1,079
2009	100	1,090
2010	199	6,412

Fuente: CENAPRED. *Tipo de cambio 12.87 pesos por dólar.

Gráfica 9. Afectados por desastres climáticos e hidrometeorológicos (millones de habitantes)



Source: CONAGUA, 2011.

damente medidos. Para estimar los efectos de las sequías, existe suficiente información solamente en algunos casos en países desarrollados. De acuerdo con la FAO (2013), “desde 1900 han muerto más de 11 millones de personas como consecuencia de la sequía, y más de 2,000 millones se han visto afectados, más que en cualquier otro riesgo físico”. Por otra parte, de acuerdo con diversos investigadores, la duración e intensidad de las sequías se ha visto incrementada, en especial a partir de 1940. En México, estudios con sequías reconstruidas de los últimos 600 años muestran que el país, además de sequías regionales de corta duración, registra mega-sequías con una periodicidad de alrededor de 50 y 100 años (Cerano Paredes *et al.*, 2011), como se puede observar en la Gráfica 9.

Las más recientes sequías que han afectado a México –la primera entre 2003 y 2006, y la segunda entre 2010 y 2013– han sido particularmente intensas. En la Gráfica 10 se ilustra el porcentaje del territorio nacional bajo condiciones de sequía del año 2003 a agosto de 2013, mes en el que este fenómeno se vio interrumpido por lluvias extraordinarias, el otro extremo meteorológico, y que ha producido daños inéditos en el territorio nacional.

Como se puede observar, durante 2011 se llegó a tener déficit de lluvias en 90% del territorio, y más de 40% de la superficie se encontraba bajo sequía severa. Asimismo, es de notar que durante toda la década, en promedio, más de 30% del país se ha encontrado en condiciones de déficit de lluvia.

Debido a que una gran parte de los efectos del cambio climático están presentes en la problemática hídrica de las ciudades, muchas de las medidas de adaptación recomendadas serán útiles en cualquier caso. El énfasis en adaptación se concentra en incrementar la resiliencia, entendida como la capacidad de una ciudad de prever, enfrentar y recuperarse de eventos catastróficos. En las ciudades, sin embargo, el riesgo no se distribuye de manera uniforme, y en su mayor parte afecta a los más pobres, quienes tienen una menor capacidad de prevención de riesgos y recuperación ante desastres; se asientan en zonas de alto riesgo y en condiciones de alta concentración demográfica. Los pobres de las ciudades deben ser, por tanto, la línea frontal de los esfuerzos para incrementar la resiliencia urbana (Baker, 2012).

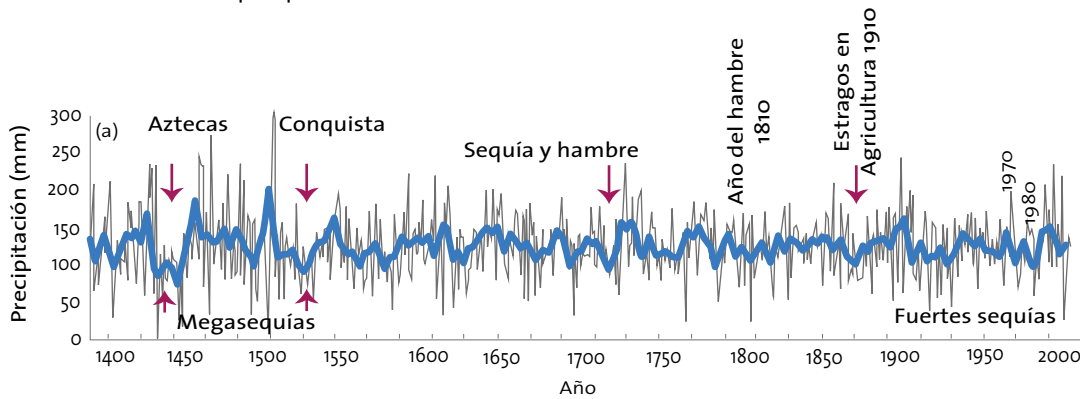
Existen numerosas medidas de orden técnico para incrementar la resiliencia (ver, por ejemplo, Martínez Austria y Patiño Gómez, 2012). Sin embargo, las acciones cruciales son aquellas destinadas a incrementar la resiliencia social de las comunidades urbanas. En el pasado congreso de “Ciudades Resilientes” (Balbo *et al.*, 2013), se reportaron los siguientes mensajes clave para tener el resultado deseado:

- El enfoque participativo facilita el intercambio de conocimiento e intervenciones más exitosas.
- La resiliencia requiere la construcción comunitaria.
- Las acciones basadas en la acción comunitaria crean oportunidades para soluciones innovadoras y costo-efectivas.
- Los pobres urbanos son activos, agentes ingeniosos, pero aún los más vulnerables.
- Debe integrarse la planeación del desarrollo con la adaptación.

La adaptación es un proceso. No existen medidas únicas, universales y eternas. No se conocen, en la mayoría de las urbes, los efectos y magnitud esperada de los eventos en un clima cambiante. Sin embargo, la construcción de resiliencia urbana no puede esperar.

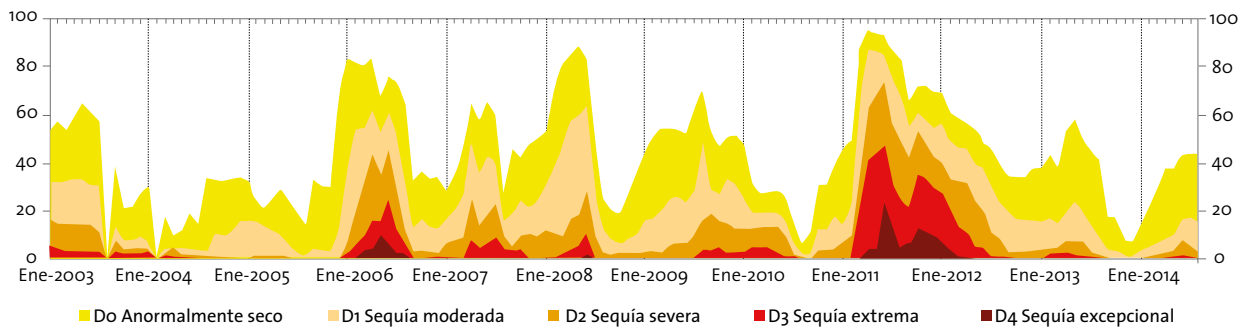
Con respecto al número de personas afectadas por desastres climáticos e hidrometeorológicos en el periodo comprendido de 1999 a 2009, en la Gráfica 11 se muestra que acusa la variabilidad anual de la ocurrencia de grandes desastres debidos a los fenómenos hidrometeorológicos

Gráfica 10. Variabilidad de precipitación en el noroeste de México en los últimos 600 años



Fuente: Cerano Paredes *et al.*, 2011.

Gráfica 11. Porcentaje de la superficie de México afectada por sequías entre enero de 2003 y agosto de 2013



Fuente: SMN, 2013.

Resiliencia y Adaptación a Eventos Climáticos Extremos: El caso de las Inundaciones (Huracán “Alex”) en el Área Metropolitana de Monterrey

Localizada en el noreste de México, el Área Metropolitana de Monterrey (AMM) es uno de los principales centros urbanos de América Latina. Con una población cercana a los 4 millones de habitantes y una economía dinámica y diversificada, Monterrey se ha convertido en una de las regiones industriales más importantes de México y un destino de primer orden de inversión extranjera directa, particularmente en el sector manufacturero.

Recuadro 9

El abasto de agua a la ciudad y los fenómenos climáticos extremos están íntimamente relacionados. Los huracanes “Alex” (julio, 2010) e “Ingrid” (septiembre, 2013) causaron afectaciones importantes a la metrópoli. Por ejemplo, el huracán “Alex” provocó daños a líneas de conducción y colectores, afectando adversamente la prestación de los servicios de agua. Se dañaron 54 kilómetros de tuberías de agua potable, 45 kilómetros de colectores e hicieron necesaria la reconstrucción y rehabilitación de siete estaciones de bombeo y cerca de 10 mil tomas domiciliarias. Las plantas de tratamiento también fueron dañadas. El evento dejó sin suministro de agua a amplios sectores de la población. Aunque en su mayoría los servicios fueron restablecidos en las primeras 72 horas, existieron zonas en donde los daños por este fenómeno natural no pudieron restablecerse con la misma rapidez. Sólo en el AMM 50 mil personas quedaron sin el servicio de agua potable durante días y en algunas colonias el servicio se suspendió durante varias semanas. Todavía después de casi cuatro años del huracán, se observan los estragos que dejó en la estructura vial de la ciudad, pero en cuanto a los servicios de agua, éstos se restablecieron completamente poco después de la ocurrencia del huracán.

En el mismo mes que ocurrió el huracán “Alex”, el Gobierno de la entidad estableció el Consejo Estatal para la Reconstrucción de Nuevo León (CERNL). Si bien la evaluación de los trabajos del mismo es una asignatura pendiente, el esquema en sí vale la pena ser comentado. Es necesario subrayar que la estimación de los daños fue una tarea no exenta de dificultades y de roces entre diferentes ámbitos. El Consejo se conformó con la representación de los tres niveles de gobierno y actores de la sociedad civil, preponderantemente por los círculos empresariales. El Consejo se estructuró en diez comités. Cada comité tenía como interlocutores a dependencias federales y estatales. No es difícil imaginar la complejidad para el funcionamiento de un Consejo con tantos comités. Esto además de los reemplazos que se dieron en las personas responsables de las dependencias federales y estatales, ante los cambios en las administraciones, y el efecto adverso en el desarrollo de los trabajos correspondientes. Tres años después de la llegada de “Alex”, el CERNL concluyó formalmente sus trabajos. Por lo que se refiere a lo financiero, las aportaciones al proceso de reconstrucción se estimaron por encima de los 17 mil millones de pesos. Sin embargo, casi en su totalidad los recursos se destinaron a infraestructura de carreteras y de movilidad urbana e hídrica, marginando la agenda social de la reconstrucción. Es justo también decir que si bien el CERNL contribuyó a la reconstrucción tras la ocurrencia de “Alex”, no tenía la estructura para abordar de fondo temas y asuntos de carácter estructural asociados con la urbanización y la presencia de fenómenos climáticos. La complejidad de estos temas y su entendimiento rebasan las acciones diseñadas en tiempos de emergencia.

Las lecciones y experiencias derivadas del caso Monterrey también pueden ser de interés latinoamericano, ya que se evidencia que los retos más grandes se asocian con el rápido crecimiento poblacional y económico que complica el diseño de respuestas de política coherentes más que con fenómenos naturales derivados del cambio climático. “Alex” e “Ingrid”, y las tormentas y huracanes que le precedieron, muestran la existencia de una arquitectura institucional disfuncional, fracturada, no a tono con las exigencias que el abordaje de este tipo de fenómenos impone. De hecho, se trata de una doble disfuncionalidad: la correspondiente al sector hídrico en la que se cruzan instituciones, programas y leyes de diferentes órdenes de gobierno, no siempre en la dirección de una mejor gestión del recurso sino que a menudo van en sentido contrario, y ejemplificada con crudeza por el funcionamiento del Fondo Nacional de Desastres Naturales; y la asociada con la propia área metropolitana, manifestada esta última en un patrón de urbanización que magnifica los daños. Lo que resulta entonces natural es la respuesta insatisfactoria ante las inundaciones.

8. Conclusiones

México es un país que presenta desigualdad en el acceso a los servicios de agua y de saneamiento, así lo demuestran algunos datos que se han presentado. El panorama puede agudizarse, sobre todo, porque se estima que la población urbana seguirá creciendo, generando una presión creciente sobre el desarrollo urbano y la prestación del servicio del agua, particularmente en las zonas del país donde el recurso ya es escaso.

Una conclusión fundamental para proceder a una mejor toma de decisiones respecto del manejo del agua urbana es la necesidad de contar con información apropiada para este uso. Ello requiere de un cambio en la forma en la cual se construyen las bases de datos, más que realizar nuevas o diferentes maneras de tomar los datos.

En México se deberá pugnar porque el derecho humano al agua sea cumplido en tanto acceso, cobertura, calidad y asequibilidad. Sin embargo, lo que se observa es que en algunas zonas en donde el acceso es precario, éste sólo es posible a través de la creación de nuevas modalidades de formas de abasto de agua, como son la comercialización mediante pipas o los arreglos comunitarios para la construcción, mantenimiento y operación del sistema local, que suelen basarse en una alta inversión de los propios pobladores y en regulaciones autogestivas que incluyen el control, la vigilancia del sistema y la implementación de sanciones.

Al tomar en cuenta el panorama anterior, la gobernanza del agua adquiere relevancia para lograr una distribución equitativa del líquido que esté basada en el acceso al agua como un derecho humano. Y aunque en los últimos años se han experimentado profundas transformaciones en la política del agua a través de la descentralización de la prestación del servicio público de agua potable, el crecimiento de la demanda de agua en las áreas metropolitanas y la incorporación de la participación de la población en la solución de los problemas plantean un enorme desafío para las autoridades locales y federales. Por ello, el esfuerzo por ordenar el marco de gobernanza de los servicios urbanos de agua, así como implementar mecanismos de gestión de la demanda, debería ser, al menos, tan importante como el que se sigue dedicando a los grandes proyectos de transporte de caudales entre cuencas.

Como se ha planteado, México produce alrededor de 1.5% de los gases de invernadero y, sin embargo, es uno de los países con mayores riesgos por cambio climático. En las zonas urbanas, los efectos del cambio climático se sumarán y serán potenciados por otros procesos que los harán más peligrosos, por lo que una visión prospectiva de la vulnerabilidad de las ciudades de México requiere ser integral. Se podría suponer que las zonas de mayor vulnerabilidad se ubican en las zonas rurales, por sus condiciones históricas de pobreza y marginación. Sin embargo, algunas de las regiones de mayor vulnerabilidad son de hecho algunas de las principales ciudades del país, lo cual es debido principalmente al constante crecimiento poblacional, la concentración urbana y la ubicación de las ciudades en zonas de escasos recursos hídricos o aún sobreexplotados que incrementan asentamientos en zonas de alto riesgo por impactos del cambio climático, lo que aumenta su grado de exposición. De modo que los tres órdenes de gobierno deberían mejorar su acción coordinada para optimizar y ordenar las prácticas de uso del suelo, e incursionar en nuevos modelos de planificación urbana que tomen en cuenta los impactos de la variabilidad climática y permitan manejar de manera más eficaz los escurrimientos pluviales.

En materia de agua y salud ha habido avances que se pueden observar en el descenso de las tasas de enfermedades infecciosas intestinales, sin embargo, falta mucho por hacer ya que en otras enfermedades como la tifoidea o la salmonelosis los casos han aumentado, por lo que deberían reforzarse algunos programas como el Programa de Agua Limpia o bien implementarse nuevos programas que favorezcan el incremento de la cobertura del agua potable.

Por otro lado, como se ha visto, no todas las ciudades pueden soportar la carga financiera de los grandes acueductos a presión. Éstos también generan daños sociales y ambientales en las cuencas de origen y el trayecto de los acueductos, acrecentando, en muchos casos, el uso de energía para el bombeo y el tratamiento de las aguas. La concepción de este tipo de proyectos bajo el argumento de “sustitución de fuentes” no puede significar el abandono del mandato para controlar la extracción de las aguas subterráneas y las descargas en cuerpos superficiales.

En cuanto al rubro financiero, éste debería ser reformado para contribuir a dar a los operadores estabilidad e incentivos a su eficiencia. Hoy por hoy, un sistema deteriorado por causa de malas decisiones en el pasado, puede siempre aspirar a ser rescatado con recursos federales, si la ciudad cuenta con la capacidad de negociación política y financiera para hacerlo. De manera gradual, deberían implementarse programas de subsidio vinculados a las mejoras en el desempeño, que promuevan la profesionalización de municipios y organismos en la administración de los sistemas. Asimismo, se puede observar que el Gobierno mexicano ha hecho enormes esfuerzos para incrementar las coberturas y mejorar el desempeño de los sistemas municipales, pero persisten retos enormes para asegurar servicios sostenibles y de calidad. Hay una necesidad urgente de implementar un sistema eficaz para la custodia, restauración y preservación de las aguas nacionales, que revierta el desequilibrio hidrológico en numerosas cuencas y acuíferos. De poco servirá buscar mayor eficiencia energética en la extracción si los niveles de los mantos freáticos siguen descendiendo y las fuentes confiables y de calidad están cada vez más lejos y en estado de vulnerabilidad. No habrá recurso que alcance si perdemos las fuentes de agua limpia.

Asimismo, debe promoverse en los municipios y entidades federativas una profunda reforma institucional que dé más claridad al ciudadano sobre las responsabilidades de cada órgano u orden de gobierno. Los organismos operadores deberían tener claridad e independencia operativa, recursos suficientes y un apoyo presupuestal vinculado a su desempeño, mientras la autoridad municipal y estatal deberían centrarse en la regulación de las tarifas y del propio desempeño, pero sin interferir continuamente con las decisiones operativas y de administración de los sistemas. Los usuarios deberían ser facultados para informarse, entender la situación de sus sistemas de agua y saneamiento, participar en las decisiones y exigir que se les proporcionen servicios de calidad a un precio justo, en la medida que se comprometan también a cumplir con el pago y el buen uso de los servicios.

Un punto clave son los consejos directivos de los organismos, los cuales deberían integrarse en las ciudades medias con ciudadanos que realmente

puedan apoyar de manera profesional el buen curso de los sistemas, utilizando buenas prácticas de gobierno corporativo y estableciendo mecanismos para garantizar que los consejos rindan cuentas plenas, especialmente si son ciudadanos. Las autoridades políticas locales deberían ser plenamente responsables del estado de los activos y flujos de los organismos operadores, y rendir cuentas de los mismos a la entrega a la siguiente administración municipal. Mejores mecanismos de comunicación, como los observatorios ciudadanos del agua, pueden ayudar a construir un diálogo maduro e informado entre autoridades, operadores y ciudadanos.

Entre los retos derivados de los aspectos físicos del agua está la falta de criterios para establecer volúmenes apropiados de uso eficiente de agua y a partir de ello el establecimiento de programas en ciudades para hacer un uso eficiente del líquido. Ello ahorraría no sólo agua sino también la energía que se emplea para transportarla, potabilizarla y tratarla. Por otro lado, y poco reconocido aun a nivel nacional, destaca la importancia del reúso de agua en las ciudades de México. En comparación con muchos otros países (Jiménez y Asano, 1998), las ciudades de México y en particular las más grandes se caracterizan por niveles de reúso muy superiores a muchas ciudades de diversos países incluidos países desarrollados. Esta ventaja del país es una que no sólo se debería preservar sino incrementar aún más, y hacer del país uno que exporte conocimiento y tecnología en este campo.

Como se puede observar, la situación actual y prospectiva del abasto de agua a las ciudades de México es sin duda crítica. Requiere de un enorme esfuerzo de organización y coordinación para detener el deterioro dramático de la calidad y disponibilidad del agua, del uso del suelo y la falta de mecanismos de rendición de cuentas que induzcan una administración profesional de los sistemas. La falta de información confiable en algunos rubros como la cifra de las conexiones clandestinas o el abasto de agua mediante pipas matiza las cifras de cobertura que se mencionan en los datos oficiales. El acceso a la información, su análisis y su comunicación hacia tomadores de decisión y ciudadanos puede ser una palanca importante en este cambio; la comunidad académica debe jugar un papel central en esta tarea.

9. Referencias

- Aboites, L., Cifuentes, E., Jiménez, B., and Torregrosa, M. (2008). *Agenda del agua*. México, Academia Mexicana de Ciencias - Red del Agua.
- Aboites (2004). "De Bastión a Amenaza. Agua, Políticas Públicas y Cambio Institucional en México, 1947-2001", Boris Graizbord (ed.), *El futuro del agua en México*, México, Universidad de Guadalajara/ Centro Universitario Económico Administrativas, pp. 87-114
- Aguilar Barajas, I. (2013). Gestión de Riesgos Hidrometeorológicos Extremos para el Área Metropolitana de Monterrey y su Adaptación al Cambio Climático, Documento de Reporte Final, Proyecto Fortalecimiento de la Gobernanza Hídrica en Contextos de Cambio Climático: El Caso de la Zona Metropolitana de Monterrey, produced for the UN-Habitat program.
- Baker L. Judy, editor (2012). *Climate Change, disaster risk and the urban poor. Cities building resilience for a changing world*. The World Bank. Washington, D. C.
- Balbo A., Dowing-Smith E., Kavanaugh L. (2013). *Resilient cities 2013: Congress Report. CLEI-Local Governments for Sustainability*. Bonn, Germany. 20 pages.
- Bates B.C., Z. W. Kundzewics, S. Wu and J. P. Palutokpf Eds. (2008). *Climate Change and Water*. Technical Paper VI of the IPCC. Secretariat, 210 pp.
- Capello, R, and P. Nijkamp (2011). "Regional Growth and Development Theories Revisited", pp. 301-324, in R. Stimson, R. R. Stough and P. Nijkamp (eds.), *Endogenous Regional Development.- Perspectives, Measurement and Empirical Investigation*, Cheltenham, U.K. and Northampton, USA, Edward Elgar.
- Castro, José, Karina Kloster and María Luisa Torregrosa (2004). "Ciudadanía y gobernabilidad en México: el caso de la conflictividad y la participación social en torno a la gestión del agua" in Blanca Jiménez and Luis Marín (editors) *El agua en México vista desde la Academia*. Mexico, Academia Mexicana de Ciencias, pp. 339-370.
- CCA (2011). *Gestión del Agua en las Ciudades de México*. Mexico: Consejo Consultivo del Agua.
- CENAPRED (2012). *Características e impacto socio-económico de los principales desastres ocurridos en la república mexicana en el año 2010*. Centro Nacional de Prevención de Desastres Secretaría de Gobernación. Mexico. 157 pp.
- Cerano Paredes J., Villanueva Díaz J., Valdez Cepeda R. D., Méndez González J., Constante García V. (2011). "Sequías reconstruidas en los últimos 600 años para el noreste de México". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. No. 2, pp. 235- 249.
- CONAGUA (2011). *Estadísticas del agua en México*. 2011 Edition, 185 pp.
- _____ (2012a). *Estadísticas del agua en México*. 2012 Edition. 141 pp.
- _____ (2012b). *Atlas del agua en México 2012*. 142 pp.
- _____ (2012c). *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Edición 2012. 280 pp.
- _____ (2012d). Conferencia de prensa sobre problemática de calidad del agua de la presa Valle de Bravo, Mexico. Available at <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Conferencias/VE-Conferencia%20de%20Prensa-Calidad%20del%20Agua%20en%20la%20presa%20Valle%20de%20Bravo.pdf>
- _____ (2012e). *Proyectos estratégicos de agua potable, drenaje y saneamiento*. Conagua, Gerencia de Estudios y Proyectos. Mexico, Conagua.
- _____ (2013a). *Estadísticas del agua en México*, 2013 edition. 176 pp.
- _____ (2013b). *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. 2013 edition. 337 pp.
- Durán-Álvarez, J.C., Becerril E., Castro V., Jiménez B., and Gibson R. (2009). "The analysis of a group of acidic pharmaceuticals, carbamazepine, and potential endocrine disrupting compounds wastewater irrigated soils by gas chromatography-mass spectrometry". *Talanta* 78 (3):1159-66.
- ECLAC (1991). *El desarrollo sustentable: transformación productiva, equidad y medio ambiente*. Santiago de Chile: UNO-ECLAC.

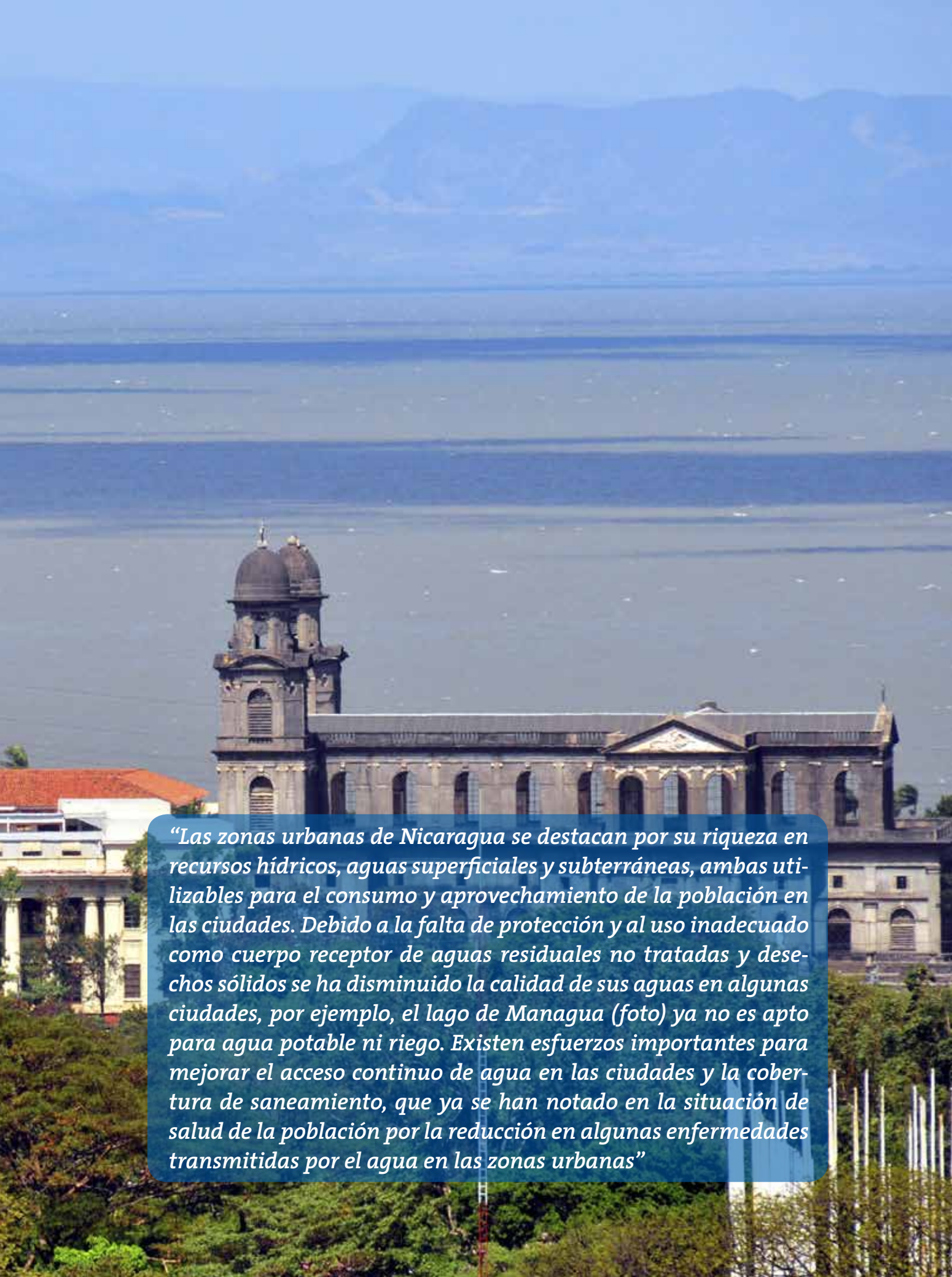
- FAO (2013). DROUGHT FAO Land and Water Division <http://www.fao.org/docrep/017/aq191e/aq191e.pdf> Consulted September 19th, 2013.
- Figuroa Vega, G. (1984). Case History No. 9.8. Mexico, D. F. In J. Poland, Guidebook to studies of land subsidence due to groundwater withdrawal, Paris: UNESCO.p.p. 217-232
- Garza, et al. (1995). *Dinámica macroeconómica de las ciudades en México*. Vol. I. México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- (1990). El carácter metropolitano de la urbanización en México, 1900-1988.
- _____ Estudios demográficos y urbanos, 37-59.
- Gobierno Constitucional del Estado de Nuevo León (2010). Atlas de Riesgo para el Estado de Nuevo León (Primera Etapa) (Documento de Consulta Pública), Monterrey, N.L., Gobierno del Estado, Secretaría de Desarrollo Sustentable.
- IMCO-Instituto Mexicano para la Competitividad (2013). Índice de Competitividad Urbana. 178 pp. Anexo Estadístico.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2010). Tabulados básicos y muestra censal del Censo de Población y Vivienda 2010. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>
- Jiménez, Blanca (2013). *Case Study: The planned and unplanned reuse of Mexico City's wastewater*.
- _____ & Asano T. (Ed.) (2008). *Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs*. IWA Publishing, 628 pp.
- _____ and Chávez, A. (2004). "Quality assessment of an aquifer recharged with wastewater for its potential use as drinking source: "El Mezquital Valley" case". *Water Science and Technology*, 50 (2): 269-273.
- Magaña, V. (2013). Clima en Monterrey: Escenarios de Cambio Climático, Documento de Reporte Final, Proyecto Fortalecimiento de la Gobernanza Hídrica en Contextos de Cambio Climático: El Caso de la Zona Metropolitana de Monterrey, produced for the UN-Habitat Program,
- Martínez-Austria P. and Patiño-Gómez C. Eds. (2012). *Adaptación al cambio climático*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 123 pp.
- _____ (2011). *Atlas de vulnerabilidad hídrica de México ante el cambio climático*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Palerm, J., T. Martínez Saldaña (eds.) (2013). *Antología sobre Riego. Instituciones para la gestión del agua: vernáculas, legales e informales*. Biblioteca Básica de Agricultura. Mexico, Colegio de Postgraduados.
- Pineda et al., (2010). "Para dar de beber a las ciudades mexicanas: el reto de la gestión eficiente del agua ante el crecimiento urbano". In Blanca Jiménez, Torregrosa and Aboites (ed.). *El agua en México: Cauces y encauces*. pp. 117-140.
- Ramírez, A. (2013). "Modelación de Eventos Hidrometeorológicos Extremos y su Impacto sobre el Comportamiento del Sistema Hidrológico de la Ciudad de Monterrey", Documento de Reporte Final, Proyecto Fortalecimiento de la Gobernanza Hídrica en Contextos de Cambio Climático: El Caso de la Zona Metropolitana de Monterrey, produced for the UN-Habitat Program.
- Rivas Acosta I., Güitrón de los Reyes A., Ballinas González, H. A. (2010). "Vulnerabilidad hídrica global: aguas superficiales". En Martínez-Austria P., Patiño-Gómez C. Eds. *Atlas de vulnerabilidad hídrica de México ante el cambio climático*. Mexico, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. pp. 81-113.

- Saltiel, G. (2008). "Problemática del sector agua potable mexicano - análisis, ejemplos y propuestas". En R. Sandoval, & R. Olivares, *El agua potable en México - historia reciente, actores, procesos y propuestas*, Mexico, ANEAS, pp. 229-237
- Sandoval, Ricardo (2012). *Urban water management in Mexico*. IANAS report.
- Schmidt, S. y Hatch Kuri, G. (2012), "El agua en México. Una cuestión de seguridad nacional", *Foreign Affairs Latinoamérica*, Vol. 12, No. 4, pp. 89-96
- SEGOB (2010). MEXICO. Informe Nacional del Progreso en la Implementación del Marco de Acción de Hyogo (2009-2011). Intermediario, México, D.F., Secretaría de Gobernación, Dirección General de Protección Civil (www.preventionweb.net/english/countries/americas/mex) (Last accessed: May 30, 2011).
- Sisto, N. (2013). Análisis de las Vulnerabilidades y Modelación de los Impactos Socio- Económicos, Documento de Reporte Final, Proyecto Fortalecimiento de la Gobernanza Hídrica en Contextos de Cambio Climático: El Caso de la Zona Metropolitana de Monterrey, produced for the UN-Habitat Program,
- SMN (2013). Climatología. Servicio Meteorológico Nacional. Comisión Nacional del Agua. http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=236&Itemid=74 UN (2012) World Urbanization Prospects. The 2011 Revision. Highlights. United Nations Department of economic and Social Affairs. Population Division. New York, p.p. 50
- Torregrosa, M.L. K. Kloster, C. Arteaga, (2006). "Gestión, solidaridad y conflicto en torno al agua. El caso de Milpa Alta en Vázquez, V., D. Soares, A. de la Rosa and A. Serrano. *Gestión y cultura del agua*, T. II. Mexico, IMTA-Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas.
- UN (2013). GAR.- Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2013, New York, United Nations Office for Disaster Risk Reduction.
- UNESCO (2012). Managing Water under Uncertainty and Risk. The United Nations World Water Development Report. Executive Summary, Paris, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- WEF (2014). Global Risks 2014.- Ninth Edition, Geneva, World Economic Forum
- WMO (2009). Integrated Flood Management Concept Paper, Geneva, World Meteorological Organization, WMO- No. 1047
- World Bank (2014). World Development Report 2014 – Risk and Opportunity.- Managing Risk for Development, Washington, D.C., International Bank for Reconstruction and Development.

Nicaragua



Managua, capital de Nicaragua. Plaza de la Revolución y Lago Managua vistos desde Loma de Tiscapa.
Foto: ©iStock.com/M.Torres.



“Las zonas urbanas de Nicaragua se destacan por su riqueza en recursos hídricos, aguas superficiales y subterráneas, ambas utilizables para el consumo y aprovechamiento de la población en las ciudades. Debido a la falta de protección y al uso inadecuado como cuerpo receptor de aguas residuales no tratadas y desechos sólidos se ha disminuido la calidad de sus aguas en algunas ciudades, por ejemplo, el lago de Managua (foto) ya no es apto para agua potable ni riego. Existen esfuerzos importantes para mejorar el acceso continuo de agua en las ciudades y la cobertura de saneamiento, que ya se han notado en la situación de salud de la población por la reducción en algunas enfermedades transmitidas por el agua en las zonas urbanas”

Aguas Urbanas en Nicaragua

**Katherine Vammen, Selvia Flores,
Francisco Picado, Iris Hurtado,
Mario Jiménez, Gustavo Sequeira
y Yelba Flores**

Resumen

La población urbana en Nicaragua ha alcanzado 58% y la capital es la zona urbana más extensa que reporta la concentración de 24% de la población total del país. Nicaragua ha logrado cumplir con los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) en cuanto al acceso de agua con 98% cobertura en zonas urbanas; sin embargo, no es así en el uso de la población urbana para tratamiento mejorado que queda aún en 63%. Existen planes y ejecución actual de proyectos para aumentar la cobertura de alcantarillado con su correspondiente reforma o construcción de la planta de tratamiento en la mayoría de las ciudades. Se ha observado un gran impacto en la calidad de agua en las ciudades debido a factores asociados con el proceso de urbanización como mal manejo de desechos sólidos y líquidos, la falta de sistemas de drenaje para el manejo de aguas pluviales, falta de protección de las cuencas ubicadas en los alrededores de las ciudades, que afectan las aguas subterráneas utilizadas para consumo de la población, y a casos de contaminación por falta de infraestructura adecuada. Se ha observado una mejora sustancial en la salud de la población de Managua debido a enfermedades transmitidas por agua como malaria y dengue, aunque existen problemas que podrían ser mejorados especialmente con el aumento en el tratamiento de aguas residuales y vigilancia de salud. Las ciudades de Nicaragua presentan vulnerabilidad a eventos extremos, debido al crecimiento desordenado, a la falta de modernización de las redes de abastecimiento y saneamiento, así como a infraestructuras en general para enfrentar eventos extremos.

1. Introducción

La población total para Nicaragua ha sido reportada en 6 millones 71 mil habitantes para el año 2012, según el Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE), y muestra una tasa de crecimiento poblacional promedio de 1,2% por año. Diferentes fuentes estiman el porcentaje de la población urbana de 58 a 60% (INIDE, 2012; WHO y UNICEF, 2014; Ortuste, 2014). En la capital, Managua, habita

24% de la población nicaragüense y es la zona urbana más grande con una población de 1 millón 42 mil 12 personas (INIDE, proyección aplicando censo de 2005). Existen 25 ciudades con una población arriba de 20 mil habitantes en todo el país y se consideran áreas urbanas unas 215 ciudades y localidades. Debido a la concentración de la población en las áreas urbanas, las ciudades presentan una alta demanda para agua de consumo y consecuentemente se forman volúmenes más grandes de aguas residuales generados por actividades domésticas, industriales y agrícolas que necesitan tratamiento por sistemas.

Se ha observado un crecimiento en la cobertura de acceso a agua potable logrando 98% para el año 2012 debido a programas de inversión de la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ENACAL), que es responsable para la prestación de servicios a nivel urbano. Es importante mencionar que Nicaragua ha cumplido con la meta de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en cuanto al acceso de agua potable, logrando un aumento en la cobertura de hasta 98% para el año 2011. Como la mayoría de los países de Latinoamérica, Nicaragua no ha alcanzado la meta de los ODM para el saneamiento. Sin embargo, se ha logrado en las zonas urbanas una cobertura de saneamiento mejorado en 63% para el año 2012 (WHO y UNICEF, 2014); actualmente, existen muchos esfuerzos para mejorar la extensión de alcantarillado con plantas de tratamiento en la mayoría de las ciudades del país. Aunque Nicaragua tiene una alta disponibilidad de agua por habitante (38 mil 668m³ per cápita), la calidad de los recursos hídricos ha sido afectada en todo el país y especialmente en las zonas urbanas enfoque de la Sección 2 de este capítulo. El estado actual y los esfuerzos en progreso para mejorar la situación de cobertura de acceso y saneamiento en las ciudades es el tema central en las secciones 3 y 4. Se ha priorizado la situación de agua y las enfermedades prevalentes en la población transmitidas por el agua en el subcapítulo de agua y salud urbana (Sección 5) en los centros urbanos, examinando con más detalle la ciudad capital, Managua. Nicaragua ha sido impactada fuertemente por el cambio climático y la Sección 6 demuestra los problemas y recomendaciones para enfrentarlo en las ciudades del país.

2. Fuentes de agua en zonas urbanas y los impactos causados por la urbanización

2.1 Fuentes de agua para abastecimiento en las principales ciudades de Nicaragua

El sistema de abastecimiento de agua de las principales zonas urbanas de Nicaragua se sustenta, en primer lugar, en la explotación de fuentes subterráneas y, en segundo lugar, de las superficiales. Así se satisface, además de la demanda de agua para el consumo humano, el abastecimiento a los sectores público, industrial, comercial y para otros fines.

Para el uso doméstico, el abastecimiento de agua potable a través de fuentes subterráneas representa 70% del total; el 30% restante proviene de agua superficial o subsuperficial. Esto se debe a que más de 86% de la población se ubica en la vertiente del Pacífico (20% del territorio), donde hay sólo 6% del agua superficial (Montenegro, 2009). Particularmente en la ciudad de Managua, este suministro de agua se realiza a través de una red de distribución y puntos de distribución mediante la explotación de 129 pozos y la laguna de Asososca (ENACAL-PNUD-OPS, 2006).

El suministro industrial, al igual que para el sector doméstico, se satisface utilizando como principal fuente de abastecimiento el agua subterránea, debido a su disponibilidad en las regiones donde se ubican la mayoría de las industrias (Pacífico y Norte-Central). Además, la buena calidad de los acuíferos hace que la inversión para el suministro sea baja. La mayoría de las grandes industrias del país poseen fuentes propias de abastecimiento de agua, las cuales son de origen subterráneo y no han sido registradas, no son facturadas y por lo tanto no se cuenta con datos de extracción. No obstante, el consumo de agua para la industria se ha estimado en 14% de la extracción total anual de agua (Vammen y Hurtado, 2010).

En Managua, un alto número de industrias, que pertenecen al parque industrial, se han establecido en parte de la franja costera del Lago de Xolotlán, con el objeto de aprovechar la disponibilidad de agua subterránea por una parte, así como por la facilidad para verter sus efluentes líquidos al lago. Económica y administrativamente las industrias

muestran bajos niveles en la productividad industrial del agua, siendo un reflejo del poco valor asignado a este recurso y a su uso inadecuado (Vammen y Hurtado, 2010).

La información que aquí se presenta, aborda aspectos característicos de zonas urbanas que representan un peligro permanente como fuentes contaminantes de los recursos hídricos (subterráneos y superficiales), haciendo particular énfasis para la ciudad capital de Managua. De manera específica

también se vincula esta problemática con las fuentes que son explotadas para el suministro de la población tanto de las áreas urbanas como periurbanas de Managua, considerando la fragilidad de las mismas ante las acciones humanas. Proteger y conservar estos recursos es fundamental para garantizar el futuro abastecimiento, sobre la base del equilibrio extracción-suministro-disponibilidad (cantidad y calidad).

Un hecho que se destaca es que el crecimiento desordenado de la ciudad de Managua ha incrementado las fuentes de contaminación como resultado de asentamientos humanos espontáneos en zonas sin cobertura de alcantarillado sanitario, además de la intensificación de la agricultura en la zona de recarga del acuífero que ha provocado una mayor demanda en el uso de agroquímicos, todo esto vinculado con la falta de sensibilización de la población en general en relación con el uso de los recursos hídricos superficiales.

Figura 2.1 Laguna de Asososca



Figura 2.2 Acuífero de Managua



2.2 Recursos hídricos en la ciudad de Managua

Dentro del territorio nacional, particularmente la ciudad de Managua, se cuenta con un alto potencial de recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos. Entre ellos se destaca la Laguna Asososca (Figura 2.1) y el acuífero de Managua (Figura 2.2), que sirven actualmente como fuentes de abastecimiento.

Otro cuerpo de agua superficial es el Lago Xolotlán, el segundo lago más grande del país, enclavado, en su mayor parte, en una formación de materiales volcánicos y ocupa parte del graben de Nicaragua (ENACAL, INETER, CIRA/UNAN, 2008). Aunque la capital está construida a la orilla del Lago de Managua y podría, como lo fue antes de 1930, tener una abundante provisión de agua del Lago Xolotlán, su contaminación lo hace no apto para beneficio directo de las poblaciones ribereñas del mismo. En la zona urbana también se localizan las lagunas de Nejapa, Tiscapa y Acahualinca que ocupan el fondo de antiguos cráteres volcánicos formados por explosión y hundimiento hace aproximadamente 5 mil años.

De las dos cuencas hidrográficas del municipio de Managua, Cuenca Norte y Cuenca Sur, una de ellas, la llamada Cuenca Sur 825 km², drena sus aguas hacia el Lago de Managua o Xolotlán, estando dividida en 4 subcuencas, correspondiendo tres a Managua, y que ocupan aproximadamente 70% del municipio (INIFOM, 2013).

La Cuenca Sur del Lago de Managua o Xolotlán, debido a las características geomorfológicas, ambientales y de desarrollo urbano particulares que presenta, es vulnerable a los fenómenos naturales de origen climático, volcánico y sísmico. Ésta no tiene cursos de aguas significativos, sólo hay presencia de corrientes efímeras de carácter estacionario y algunas permanentes de curso breve y bajo caudal (ríos Santa Elena, Borbollón, Lodoso). La topografía de la Cuenca Sur y la sustitución de la vegetación original por cultivos anuales dispersos han permitido que la erosión forme hondonadas y cañadas, especialmente en las áreas de pie de monte (200-450 msnm) (INIFOM, 2013).

2.2.1 Recursos hídricos superficiales en la ciudad de Managua

Cuenca Sur del Lago Xolotlán

De las 4 subcuencas en que está dividida la Cuenca Sur del Lago Xolotlán, la Subcuenca III alcanza un territorio de 178 km² y se extiende desde las costas del Lago de Managua (40 msnm), hasta la Meseta El Crucero (940 msnm).

Esta Subcuenca III es el área de recarga más importante del acuífero que suministra agua potable a Managua; en ella se encuentran tres campos de pozos que producen 60% del suministro de agua a la ciudad. La Subcuenca III es también un área invaluable en lo que corresponde a biodiversidad y calidad de suelos para producción; sin embargo, es una zona altamente vulnerable debido al crecimiento

desordenado de la ciudad y al inadecuado manejo de actividades agrícolas, de los desechos sólidos, de las aguas negras y pluviales, provocando estragos ambientales y socioeconómicos. En la parte alta, la actividad agrícola ha contribuido a la deforestación acelerada (Figura 2.3), especialmente en zonas con pendientes de fuertes a moderadas (Alcaldía de Managua, 2008).

En los últimos años, la parte media y baja de la Subcuenca III ha cobrado importancia como zona residencial, especialmente por el desarrollo vial de la carretera a Masaya y sus alrededores; el crecimiento de urbanizaciones y los cambios en el uso de la tierra implican un aumento de la escorrentía superficial, mayor erosión y más demanda de infraestructura en la red de drenaje y servicios básicos (Alcaldía de Managua, 2008).

Entre los recursos hídricos superficiales, los que más se destacan son los cuerpos de agua cratéricos:

Laguna de Asososca

Del náhuatl *Agua Azules* (Tabla 2.1 y 2.2) es un reservorio de agua natural y el único cuerpo de agua, de los diferentes con que cuenta la ciudad, que se encuentra en óptimas condiciones para consumo humano; su suministro para la población entre 14 y 20% de la demanda, lo convierte en una fuente importante. Se comenzó a explotar en 1914 y forma parte del sistema de abastecimiento de agua desde que se abandonaron los pozos perforados en las cercanías del lago de Managua (ENACAL-PNUD-OPS, 2006).

Condición actual. La deforestación progresiva en la Cuenca Sur del Lago de Managua ha disminuido la infiltración y provocado el descenso del manto freático en la llanura subyacente, con la consecuente baja del nivel de la laguna que alcanzó límites críticos a principios de los 90. Este cuerpo de agua se encuentra bien conservado debido a su protección como fuente de abastecimiento de agua para la ciudad.

Entre las actividades alrededor del área protegida se encuentran la comercial, el refinamiento de petróleo, la extracción de arena y repartos residenciales.

Principal amenaza. En el estudio Industrial Contamination of a Municipal Water-Supply Lake by Induced Reversal of Ground-Water Flow, Managua, Nicaragua, realizado en 1991-1992 se evaluó que existe la posibilidad de que al realizar una extracción de agua mayor que la capacidad de recuperación del

Figura 2.3 Agricultura (Cultivos de Piña) en Ticuantepe sobre el manto acuífero



Figura 2.4 Refinería en la orilla norte de la Laguna de Asososca



El Nuevo Diario, 2011.

Figura 2.5 Laguna de Tiscapa, cauce artificial que descarga aguas pluviales y residuales domésticas desde 1980



Figura 2.6 Laguna de Tiscapa



lago Asososca, se pueda dar una inversión del gradiente y de esa manera contaminarse con aguas del Lago de Managua. Asimismo, se encontraron evidencias de una relativa movilidad de compuestos químicos orgánicos sintéticos procedentes del área industrial (Figura 2.4) (Bethune, Farvolden, Ryan y López, 1996).

También existe la posibilidad de contaminación de las corrientes subterráneas que atraviesan la ciudad y abastecen de agua a la laguna debido a la presencia de estaciones de servicio (Figura 2.8).

Laguna de Tiscapa

Del náhuatl Uticapa Techcath, *piedra de sacrificios*, la más pequeña de las lagunas cratéricas (Figura 2.5, Tabla 2.1), fue declarada Reserva Natural en 1991 mediante el Decreto 4291 (Alcaldía Municipal de Managua, 2004).

Condición actual. Hasta hace unas décadas, este cuerpo de agua fue recomendado como fuente potencial para consumo humano de la ciudad de Managua (Naciones Unidas, 1976), (Sawyer H. A., 1973). Estudios realizados desde 1989 por el Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN) hasta la fecha, han revelado un deterioro progresivo y generalizado del estado ambiental y de la calidad de sus aguas. Evidencian estas condiciones el decaimiento drástico de oxígeno disuelto a partir de los 2 m, una alta concentración de nutrientes y de biomasa fitoplanctónica dominada por cianofitas que se asocia con el estado hipereutrófico en que se encuentra, así como un alto contenido de indicadores microbiológicos de contaminación (Coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* y estreptococos fecales). Actualmente sus aguas se encuentran severamente restringidas para cualquier tipo de uso (CIRA/UNAN, 2008).

El manejo no apropiado de su microcuenca (Microcuenca D) y las decisiones institucionales desafortunadas provocaron el proceso de contaminación de sus aguas, con acumulación de desechos sólidos en sus aguas y riberas (Figura 2.6), así como el exceso de nutrientes y grandes cantidades de sedimento en las proximidades del canal de desfogue; todo en perjuicio de la diversidad ecológica, tanto terrestre como acuática (Alcaldía Municipal de Managua, 2004). Información suministrada en junio de 2011 por el coordinador de la limpieza, David Castillo in-

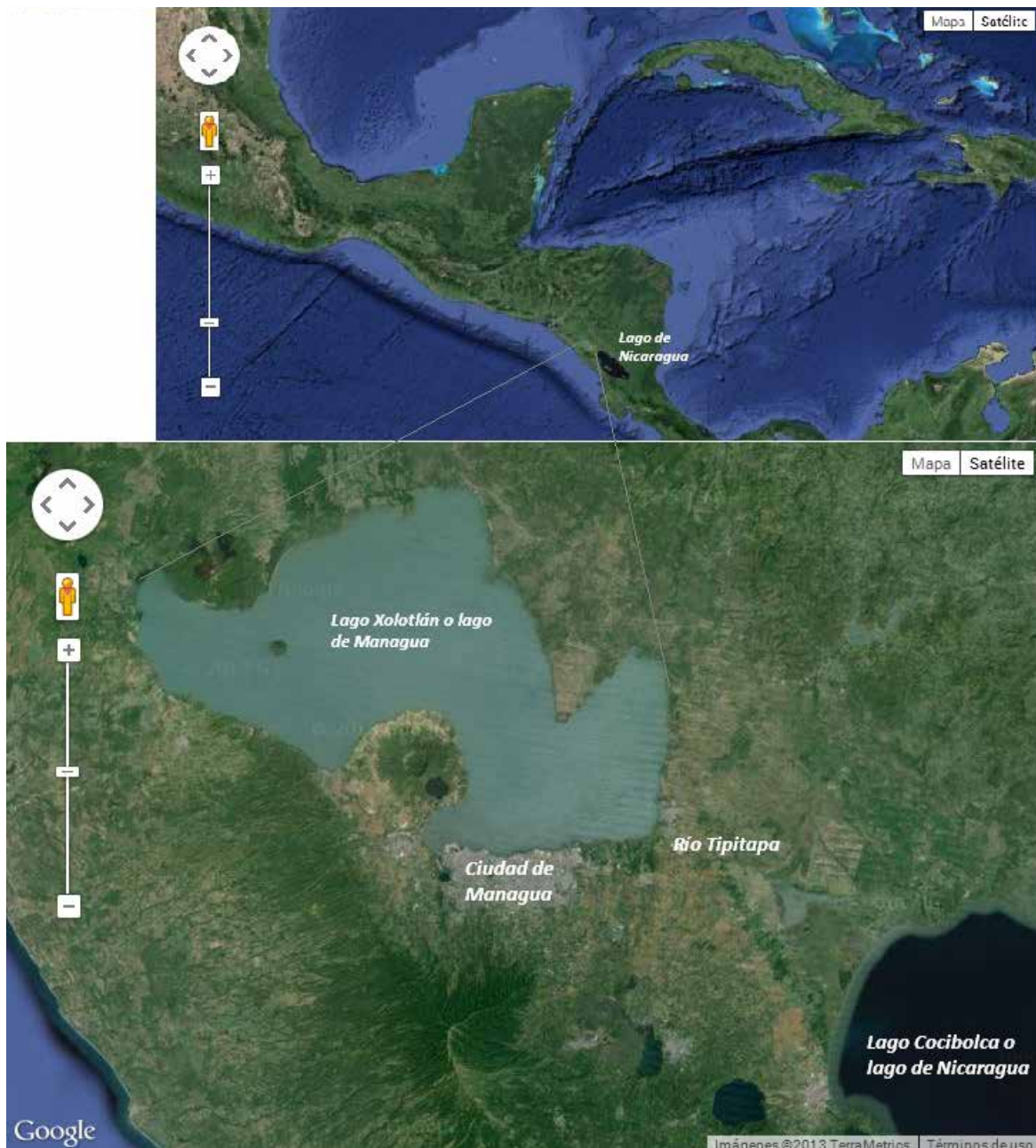
dica que la laguna recibe diez toneladas métricas de desechos orgánicos a la semana (*La Prensa*, 2013).

Lago Xolotlán o Lago de Managua

Es el segundo lago de Nicaragua por su dimensión (Tabla 2.1); el volumen de agua almacenada gira en torno a los 1010m³. En 1910 se interrumpió la conexión de este cuerpo de agua a través del Río Tipitapa

con el Lago Cocibolca o de Nicaragua (Figura 2.7), que es de mayores dimensiones y está situado a unos 9 metros más abajo (Plata, Araguás, Avilés y Peña, 2001). Posteriormente, la comunicación se ha restablecido de manera esporádica en los años de grandes huracanes y eventos de descargas hídricas extraordinarias, cuando el nivel de sus aguas sobrepasa los 39.22msnm (Paso Panaloya) (INETER, 2014). Esto ocu-

Figura 2.7 Lago Xolotlán o Lago de Managua



rió durante el siglo pasado en 1933, 1954, 1982 y 1998. Recientemente los dos lagos han sido comunicados constantemente desde Octubre del año 2010.

Condición actual. El Lago Xolotlán es un cuerpo de agua contaminado de manera natural por la actividad volcánica que existe a su alrededor (fuentes termales enriquecidas con boro y otros metales) y externamente por el incremento de las acciones humanas en su cuenca circundante (Meulemans, 1991).

La ciudad de Managua, que se ubica en la ribera sur del lago (Figura 2.7), utilizó este cuerpo de agua como receptor natural de sus aguas residuales (industriales, domésticas y pluviales) sin tratamiento alguno desde 1927 (Vammen y Hurtado, 2010) hasta el año 2009, cuando entró en operación una moderna planta de tratamiento. Además de las aguas residuales, también contribuyeron a la contaminación desde 1972 los lixiviados generados por los desechos del vertedero municipal (47 hectáreas de extensión), conocido como La Chureca, por estar a orillas del lago (CIRA/UNAN, 2010). Estos desechos eran depositados sin ningún tipo de manejo ambiental hasta 2010 cuando se selló. Actualmente el sitio cuenta con una planta de tratamiento, la más moderna en América Latina, como parte del Proyecto de Desarrollo Integral del Barrio de Acahualinca-La Chureca de Managua que inició hace seis años por la Cooperación Española en Nicaragua y que recicla al menos mil toneladas de desperdicios diarios, donde también se construyó una escollera de 1 mil 745 metros de extensión para proteger el Lago Xolotlán.

El vertido con un alto contenido de mercurio desde 1967 hasta 1992, procedente del complejo Her casa-Elpesa (Pennwalt), productora de hipoclorito de sodio y cloro gas, cuenta entre una de las peores afectaciones del Lago Xolotlán. Esta fábrica se estableció, como muchas otras industrias, en una parte de la franja costera sur para aprovechar la facilidad de verter sus residuos en el ecosistema. Se estima que 40 toneladas de mercurio elemental fueron depositadas en el Lago Xolotlán por esta vía. Niveles muy altos de mercurio total se encontraron en los diferentes compartimentos del ecosistema, según el estudio realizado por el CIRA/UNAN en 1991 (Lacayo, Cruz, Lacayo y Fomsgaard, 1991). Algunos resultados del proyecto “Contaminación ambiental por mercurio en el Lago Xolotlán, Nicaragua: Evaluación de Riesgo a la Salud Humana” actualmente en ejecución entre el Centro para la Investigación en Re-

ursos Acuáticos y el Instituto Nacional de la Enfermedad de Minamata de Japón, han confirmado que la zona circundante a las antiguas instalaciones de esta fábrica (suelo y agua subterránea) se encuentra contaminada, constituyendo una fuente potencial de mercurio para el Lago Xolotlán (Peña, Montenegro, Pitty, Matsuyama y Yasuda, 2007).

Tanto el sector norte como el sur de su cuenca ha sufrido deforestación, de ahí que existe un aporte importante de nutrientes y sólidos suspendidos al lago a causa de la erosión, así como de otras actividades humanas que se desarrollan de manera inadecuada (ENACAL, INETER, CIRA/UNAN, 2008; CIRA/UNAN-CARE-MARENA/PIMCHAS, 2012). En general, sus aguas no son aptas para consumo humano, presentando además fuertes restricciones para fines de riego debido a las altas concentraciones de sodio, cloruros y boro, así como peligro de salinización y alcalinización de los suelos (ENACAL, INETER, CIRA/UNAN, 2008).

2.2.2 Recursos hídricos subterráneos en la ciudad de Managua

El acuífero de Managua, situado al sur del Lago Xolotlán, oscila entre 6 y 150 metros de profundidad (ENACAL, 2008); cuenta con aproximadamente 600 km². Sobre su área se realizan numerosas actividades que pueden ser mencionadas como potenciales fuentes contaminantes tales como industriales, agrícolas, municipales y estaciones de servicio (gasolineras), entre otras.

Tabla 2.1 Características de los principales recursos hídricos superficiales de la ciudad de Managua

Cuerpo de agua	Forma y superficie	Profundidad
Laguna de Asosca ¹ 37,69 msnm	Forma circular Superficie: 0.8 km ² Diámetro: 1.2 km	Máxima: 95 m
Laguna de Tiscapa ^{2,3} 51.79 msnm	Aproximadamente circular Superficie: 0.16 km ² Diámetro: 500 m Línea costera prácticamente vertical	Máxima: 33 m Media: 20 m
Lago Xolotlán ^{4,5} 37.84 msnm	Superficie: 1,052.9 km ² Longitud máxima: 58.4 km Anchura máxima: 32.7 km	Máxima: 26 m Media: 7.8 m

1. MARENA - PROTIERRA - CBA; 2. Alcaldía Municipal de Managua 2004; 3. CIRA/UNAN, 2008; 4. ENACAL, INETER, CIRA/UNAN, 2008, 5. INETER-OIEA, 2001

Conocer el potencial hídrico del acuífero ha sido objeto de mucha preocupación y, por ende, de algunos estudios realizados en las últimas décadas. En 1993, el Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA) y la Agencia Internacional de Cooperación de Japón (JICA), utilizando un programa de modelaje para agua subterránea, encontraron indicios de sobreexplotación y amenaza de contaminación en el sector central, por lo que llegaron a recomendar reducir la tasa de bombeo y desarrollar nuevas fuentes con base en el incremento de la demanda que determinaron para el año 2000 (553 mil m³/día). Posteriormente (Cruz, 1997), se determinó que con el nivel de extracción en 1996 el acuífero no se encontraba sobreexplotado y que tenía capacidad para cubrir la demanda para el año 2010.

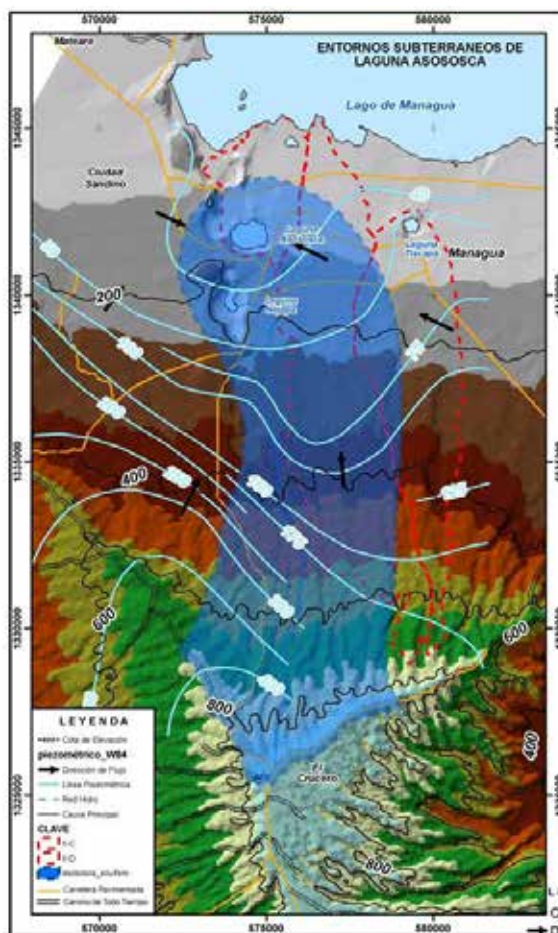
El agua subterránea producida por esta cuenca es el principal medio de abastecimiento de gran parte de la ciudad capital, encontrándose cinco importantes campos de pozos, cuyo volumen de extracción representa más de 50% de la producción de los pozos de la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado de todo el acuífero de Managua (SUWaR-Nicaragua, 2000). En su generalidad, la calidad del agua es adecuada para consumo humano; es mayormente carbonatada-bicarbonatada con un pH entre 7,2 y 8,2.

2.3 Factores que contribuyen a la contaminación de las aguas superficiales

2.3.1 Sobreexplotación hídrica

La Laguna de Asososca, que es considerada un gran pozo natural al descubierto, es decir, parte del acuífero, fue la principal fuente de agua para la ciudad de Managua hasta principios de los 90. El aumento de la población ocasionó una acelerada explotación de la laguna y, a partir de los años 80, su sobreexplotación se hizo patente, cuando los niveles disminuyeron tanto que la intrusión subterránea del agua del Lago de Managua hizo que la laguna corriera peligro de contaminación. Éste es un recurso hídrico básicamente alimentado a través del flujo de aguas subterráneas (Figura 2.8), siendo el aporte superficial escaso; sin embargo, la laguna constituye un cuerpo de agua superficial endorreico, por lo que ahí radica la importancia de identificar y regular las fuentes de contaminación. Con un volumen de agua de 44,4 MMC, ha sido fuente de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Managua desde 1914. Actualmente abastece

Figura 2.8 Entorno subterráneo de la Laguna Asososca



ce a 15% de la población de Managua con una extracción promedio de 17 millones de galones por día. Las aguas son de muy buena calidad y cumplen con todos los parámetros de potabilización de acuerdo con las normas internacionales.

Diferentes factores externos representan un riesgo para la calidad de las aguas de la Laguna Asososca si no son controlados: 1) El crecimiento de asentamientos espontáneos que no cuentan con el saneamiento adecuado; 2) Extracción de arena, material selecto y hormigón en las áreas circundantes sin regulación ni medición de impactos hacia la calidad del recurso hídrico y vulnerabilidad ambiental; 3) Basureros espontáneos alrededor de la laguna y malos hábitos de los visitantes del parque Las Piedrecitas, quienes arrojan basura a la laguna, y 4) Falta de ordenamiento territorial en la cuenca subterránea de la laguna (y en general de la ciudad de Managua) que

afecta las áreas de recarga, tanto en cantidad como en calidad del agua a infiltrarse en la zona.

2.3.2 Residuos sólidos urbanos

Los residuos sólidos urbanos son generados por la población y depositados sin ningún control en áreas abiertas no destinadas para tal fin, cuya procedencia está vinculada con sectores domiciliarios que no son atendidos por el servicio de recolección municipal; zonas que se encuentran fuera del alcance del servicio de limpieza pública y recalando los malos hábitos ciudadanos. La falta de control de desechos es otra fuente de contaminación para los recursos hídricos.

Cabe destacar que el sistema de drenaje pluvial primario de la ciudad de Managua está constituido por nueve cauces principales (Alcaldía de Managua, 2010), que en la parte alta corren paralelos, en estado natural, con dirección de Sur a Norte, respaldado con

un sistema de protección de los mismos en la parte media (pequeñas presas de tierras y cortinas de concreto), con el objetivo de regular las aguas que bajan y servir de barrera para la captación de sedimentos. En su parte media y baja los cauces han sido revestidos con concreto, piedras y otros materiales estables; sin embargo, debido al cambio de uso de la tierra, muchos de ellos presentan deficiencias hidráulicas (Alcaldía Municipal de Managua, 2004).

La situación de estos residuos sólidos es grave en la ciudad de Managua, porque los cauces son utilizados como depósito de los mismos y comúnmente en ellos convergen líquidos vertidos y todo tipo de desechos (domésticos e industriales) en grandes cantidades (Figura 2.9a), además de la proliferación de los basureros ilegales. Esto es debido a que la población no hace uso de los depósitos de basura y algunos sectores de pequeñas empresas y negocios (talleres, comiderías, etcétera) no se acoplan al sistema de

Figura 2.9a Residuos sólidos en cauces de la ciudad de Managua que son conducidos hacia el Lago Xolotlán



Figura 2.10a Laguna Tiscapa, cuerpo de agua receptor de desechos líquidos y sólidos



Figura 2.9b Sedimento en cauces de la ciudad de Managua que es conducido hacia el Lago Xolotlán



Figura 2.10b Obras de limpieza de cauces ejecutadas por la Alcaldía de Managua



recolección municipal. Según datos oficiales de la comuna capitalina, Managua genera diariamente unas mil 500 toneladas de desechos, de las cuales mil 200 son recolectadas diariamente, quedando un déficit de recolección de unas 300 que son lanzadas sin control al drenaje, calles y cauces de la ciudad (*El Nuevo Diario*, 2012).

El problema de los desechos sólidos como fuente contaminante es que son transportados directamente, vía cauces, a los cuerpos de aguas superficiales, siendo los más impactados la Laguna Tiscapa y el Lago Xolotlán, lo que se agrava además durante la época de lluvias con la carga de sedimentos (Figura 2.9b). No obstante las gestiones de la Alcaldía (Figura 2.11), esta problemática necesita la amplia participación de la sociedad civil, la cual tiene que ser sensibilizada, educada y capacitada en este tema.

2.4 Contaminación de las aguas

2.4.1 Aguas residuales

Uno de los agravantes de la cobertura insuficiente de las redes de alcantarillado sanitario es el riesgo de contaminación de las reservas de agua subterránea de la ciudad de Managua, dado que con el acelerado crecimiento de la población se ha construido de forma generalizada y se habitan sectores de manera espontánea sin invertir en las obras adecuadas para

el manejo de las aguas servidas. También han proliferado las urbanizaciones en la zona de Ticuantepe, Veracruz y Sabana Grande, donde se ubica la mayoría de los pozos que son utilizados para el abastecimiento de la población de la ciudad de Managua (ENACAL, 2008).

2.4.2 Hidrocarburos

La alta densidad de gasolineras o estaciones de servicio de combustible, actualmente 75 (*El Nuevo Diario*, 2013) distribuidas en el área urbana y periurbana (Figura 2.12), representa un alto riesgo y peligro inherente de contaminación por hidrocarburos de las fuentes subterráneas de abastecimiento de la ciudad de Managua.

De acuerdo con una evaluación sobre temas ambientales del año 2007 que presentó el Centro Humboldt (ONG ambientalista), en Managua se registró la ubicación de gasolineras en sitios no aprobados por las autoridades de seguridad y se construyeron estaciones de servicios de combustibles, sin los respectivos permisos en la ciudad de Managua. Un caso muy emblemático ocurrido en mayo de 2003 fue la fuga de 25 mil galones de gasolina en una estación de servicio Texaco localizada al NE de la ciudad de Managua (Espinoza, 2013), cuyo derrame abarcó 3,2 km² en un área residencial, comercial e industrial que la hace altamente vulnerable.

Figura 2.11 Localización de las estaciones de servicio de combustibles en la ciudad de Managua



Actualmente, el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) y el Instituto Nicaragüense de Energía (INE) dirigen acciones de protección al medio ambiente realizando inspecciones a nivel nacional con el propósito de detectar fallas. Durante el periodo comprendido entre diciembre de 2010 y noviembre de 2011 se detectaron 13 fallas de 99 pruebas de hermeticidad realizadas a instalaciones de distribución y almacenamiento de combustibles. En todos los casos de incumplimiento se procedió a recomendar acciones para superar situaciones, efectuar amonestaciones o aplicar sanciones de acuerdo a lo establecido en el marco legal (Ley No. 742, Ley de Reformas y Adiciones a la Ley No. 277, Ley de Suministro de Hidrocarburos y su Reglamento) (INE, 2012).

2.4.3 Afectaciones de la urbanización para el futuro abastecimiento de la ciudad de Managua

En los últimos cinco años, el aumento de nuevas urbanizaciones en la Subcuenca III ha superado las 10 mil viviendas (Alcaldía de Managua, 2008). Esta subcuenca es el área de recarga hídrica más importante del acuífero; en ella se encuentran tres campos de pozos que producen 60% del suministro de agua potable de la capital. Con la desaparición del bosque y la impermeabilización de los suelos se incrementa el escurrimiento de las aguas y disminuye la tasa de infiltración, con lo que se impacta el acuífero, afectando a la población por cada kilómetro cuadrado de urbanización.

Por cada kilómetro cuadrado compactado o impermeabilizado para las edificaciones, el acuífero de Managua deja de percibir 240 mil m³ de agua anual. Eso es lo que se estima que estos suelos absorben en condiciones naturales. Si estos 240 mil m³ se dividen entre 80 metros cúbicos que es lo que cada capitalino consume al año, significaría dejar desabastecidas a 3 mil personas (*El Nuevo Diario*, 2000).

3. Servicio de agua potable en zonas urbanas

En la política de agua y saneamiento de Nicaragua se encuentra proyectado el aumento en la cobertura, el mejoramiento de la calidad del servicio, el aseguramiento, el mantenimiento de los sistemas y redes existentes, y la promoción del uso racional y protección de las fuentes de agua.

En las zonas urbanas del país el suministro de agua, para 2,5 millones de habitantes, está bajo la responsabilidad de ENACAL, la cual administra directamente 74% de los sistemas de agua potable en todo el país (ENACAL, Plan de Desarrollo Institucional de ENACAL 2008-2012; Estrategia Sector de Agua, 2008). Esta empresa administra 28 sistemas de desechos sanitarios y 147 sistemas o redes de suministro de agua (Argüello, 2008). El suministro de agua cubre 88% de las áreas urbanas y un porcentaje mucho menor (18%) en las áreas rurales, para las cuales existen 5 mil 276 sistemas locales de abastecimiento de agua. En la ciudad capital esta cobertura es de 92% (ENACAL, Plan de Desarrollo Institucional de ENACAL 2008-2012; Estrategia Sector de Agua, 2008), la cual corresponde aproximadamente a una población de 1 millón 75 mil 828 personas, equivalente a unas 222 mil 847 conexiones domiciliarias, según datos de 2006.

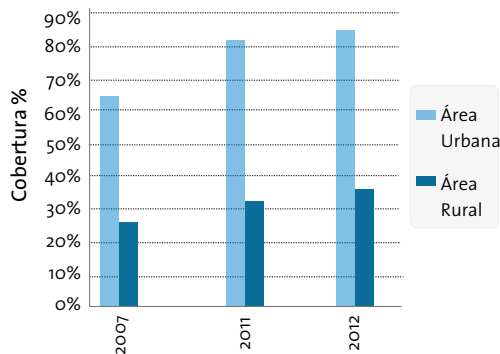
3.1 Cobertura en zonas urbanas de Nicaragua

Las cifras de cobertura y acceso a fuentes de agua potable son indicativas del cumplimiento de los objetivos de Desarrollo del Milenio, al menos en las áreas urbanas del país. En el año 2011, la cobertura de servicios mejorados de agua potable en Nicaragua es de 98% en el área urbana y 68% en el área rural.

La tasa de suministro nacional de agua incluye un número amplio de usuarios subsidiados y cubre subsidios para tasas de consumo sobre los 30 m³ mensuales, aunque el promedio de consumo por usuario es prácticamente esa misma cantidad.

En el caso de Managua, la calidad referida a continuidad del suministro del agua ha estado caracterizada por ser interrumpido tal como se muestra en la Figura 3.1 según datos del año 2008. La interrupción en el suministro de agua en la capital (conformada por 7 distritos) ha sido producto de la deficiencia en el suministro provocado por la falta de rehabilitación y el escaso mantenimiento de los pozos existentes durante los 10 años previos a 2008, así como por el uso de equipos viejos que no han sido reemplazados, a los volúmenes de aguas perdidos por las actividades comerciales (~50%) que aún poseen redes de distribución obsoletas y a las pérdidas de agua debido a las conexiones y extensiones clandestinas e informales de las redes de suministro, lo cual resulta en un desequilibrio de los sistemas de suministros.

Figura 3.2 Cobertura de agua potable (%) en las áreas urbanas y rurales de Nicaragua



obtendrían el acceso a fuentes mejoradas de agua potable. Con la perforación y rehabilitación de 118 pozos, a las zonas urbanas del país le correspondería un total de 59 mil 903 conexiones de agua potable.

3.2 Cobertura a nivel económico

Según el Informe del Fondo Monetario Internacional (FMI, 2011), el Gobierno de Nicaragua ha realizado una inversión total para agua, alcantarillado y saneamiento entre 2007 y 2010 de unos U\$ 195 millones 800 mil dólares, de los cuales aproximadamente 80.6% de esta inversión corresponde sólo a agua y saneamiento. Esta inversión se ve reflejada en la construcción de nuevos sistemas de agua y saneamiento en las zonas urbanas y rurales marginales, así como en la construcción de miniacueductos por bombeo eléctrico.

Actualmente la ENACAL ejecuta, con préstamo del Banco Interamericano de Desarrollo, el Proyecto de Agua Potable para Managua (PRASMA), lo cual ha beneficiado a 27 barrios de Managua y da continuidad a la mejora de vida de la población de Managua a través del aumento de la eficiencia y la sostenibilidad en el suministro de agua. En 2008, las inversiones realizadas para la rehabilitación, ampliación y modernización de los sistemas de agua y alcantarillado fue alrededor de los U\$ 38,8 millones, lo cual representó aproximadamente 61% del total de inversiones realizadas (ENACAL, Plan de Desarrollo Institucional de ENACAL 2008-2012; Estrategia Sector de Agua, 2008). En ese mismo año, la ENACAL proyectó una inversión de U\$ 492,04 millones (fondos del Banco Mundial, Banco Interamericano de Desarrollo,

Cooperación Financiera Alemana, países cooperantes de Corea, Japón, España, etcétera) para agua y saneamiento en todo el país para el período 2008-2012. Para las ciudades en Nicaragua con beneficios en esta inversión, la ENACAL ha proyectado un costo per cápita de inversión de U\$ 100 (ENACAL, Plan de Desarrollo Institucional de ENACAL 2008-2012; Estrategia Sector de Agua, 2008), lo cual representa 22% del total de ciudades y una población a beneficiar de 55 mil 678 habitantes.

En el período de 2002 a 2006 la inversión para cobertura de agua potable en el área urbana está presentada en la Figura 3.3. Esta inversión pasa de los U\$ 17 millones 337 mil 30 en 2002 hasta los U\$ 39 millones 730 mil 504 en 2006 (ENACAL, Plan de Desarrollo Institucional de ENACAL 2008-2012; Estrategia Sector de Agua, 2008). Como se puede observar, a diferencia de los dos primeros años, hubo una inversión sustancial para los últimos dos años de ese período. Entre 2007 y 2009, la inversión de la ENACAL en la construcción de 70 nuevos sistemas –un promedio de 23 pozos por año– fue de unos U\$ 10 millones (ENACAL, 2009). En este mismo período la legalización de nuevos usuarios permitió a la empresa un aumento en sus ingresos de hasta 43% (ENACAL, 2009), aunque en 2008 todavía existía un porcentaje de 53% del agua no contabilizada en todo el país (BCN, 2009). A partir del presente año, con la visión de proteger a los clientes domiciliarios más pobres y de menor consumo, el Gobierno ha proyectado un ajuste tarifario diferenciado en el consumo de agua potable, el cual permitirá un aumento en los ingresos a la ENACAL (GRUN, 2012).

Después del año 2007, la cobertura fue impactada por los asentamientos alrededor de las áreas urbanas, que no sólo afectó las redes de distribución y aumentó las pérdidas de agua, sino que también vino a aumentar la cantidad de usuarios que no pagaban el servicio. Por ejemplo, de los 30 mil nuevos usuarios asentados en Managua, sólo 30% pagaba la tarifa social. Entre 2002 y 2006 la producción anual de agua para consumo de la población de Managua varió entre los 240 millones 400 mil 600 m³ y los 273 millones 130 mil m³; sin embargo, el agua no facturada en ese mismo período varió desde 56 hasta 61% del total de agua producida. Según otras fuentes de información, en 2006 la producción anual de agua potable para Managua fue de unos 160 millones 495 mil 432 m³ distribuidos a través de 28 acueductos, y

las fuentes eran 130 pozos de bombeo del agua subterránea y el Lago de Asososca. Según datos del Banco Central de Nicaragua (2011), el consumo Nacional facturado de agua potable para los años 2009, 2010 y 2011 fue de 151 millones 551 mil 100 m³, 146 millones 799 mil 900 m³ y 146 millones 373 mil 500 m³ respectivamente, correspondiendo el mayor porcentaje (~ 86%) al sector residencial.

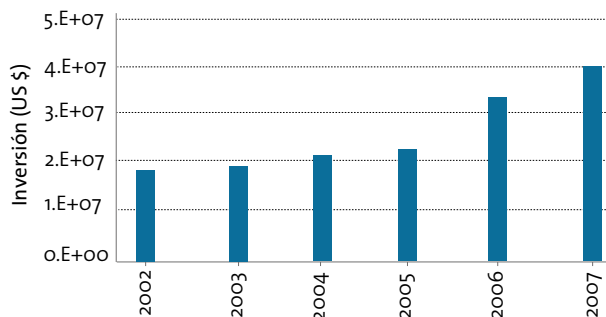
Según la ENACAL, las proyecciones en las inversiones programadas para el sector urbano en el período 2008-2011 tuvo un monto de U\$ 425 millones 580 mil.

En 2012, la ENACAL instaló 76.5 km de redes de suministro de agua potable en 31 barrios del municipio de Managua, así como las fuentes de suministro, lo cual consistió en la construcción de 12 nuevos pozos, la mayoría ubicados en el sureste desde el centro de la ciudad, que vino a incrementar el horario de abastecimiento para algunos sectores de la capital, pues para 2008 las horas sin servicio de agua potable variaban de cero hasta 24 (Figura 3.3) para 189 mil 461 usuarios.

3.3 Manejo de fuentes para el abastecimiento de agua potable

El 32% de las fuentes de agua utilizadas para asegurar el suministro y consumo humano de agua en las zonas urbanas de Nicaragua es de origen superficial

Figura 3.3 Inversión (U\$) en la cobertura de agua potable en las áreas urbanas de Nicaragua



y requieren de sistemas de tratamiento complejos, mientras 68% es de origen subterráneo. Por ejemplo, de los 200 sistemas de abastecimiento de agua potable existentes en 2007, 136 son de aguas subterráneas (ENACAL, Plan de Desarrollo Institucional de ENACAL 2008-2012; Estrategia Sector de Agua, 2008). En el caso de Managua, las fuentes de agua suministradas a la población son el Lago de Asososca (promedio de explotación diaria de 59 mil 900 m³) y las aguas subterráneas (promedio de explotación diaria de 445 mil 820 m³) extraídas a través de unos 130 pozos (Figura 3.4). Las aguas subterráneas provienen de la cuenca sur del Lago de Managua (Lago Xolotlán) y son extraídas a través de pozos localizados en áreas específicas conocidas como: Campo de Pozos Mana-

Figura 3.4 Localización de pozos para el suministro de agua potable de la ciudad de Managua (Padilla, 2002)



gua I, Campo de Pozos Managua II y Campo de Pozos las Mercedes, así como de pozos perforados dispersos dentro de la ciudad.

El porcentaje de población que hace uso de fuentes mejoradas de agua en el país ha variado desde 1990 hasta 2011 de 92 a 98% en las áreas urbanas y de 54 a 68% en las áreas rurales (OMS/UNICEF, 2013). Según proyecciones de gobierno, entre 2012 y 2017 se invertirán unos U\$ 56 millones 600 mil dólares en agua y saneamiento en el Pacífico y centro del país, lo cual significará unas 60 mil 838 nuevas conexiones domiciliarias de agua potable (BCIE, 2012). Sin embargo, otras proyecciones reflejan una inversión mayor en agua potable para el área urbana durante el período 2012-2015 de unos U\$ 201 millones 559 mil 300 dólares (Argüello, 2008). En el presente año, la ENACAL continuará mejorando el suministro del vital líquido a la población nicaragüense, para lo cual destinará 34,5 millones de dólares, los que serán financiados a través de la ayuda internacional y fondos del Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional (ENACAL, 2013).

4. Tratamiento de agua en ciudades de Nicaragua

Debido a la concentración de la población en áreas urbanas que ha llegado a 59% de la población total de Nicaragua, existe una alta demanda de agua para consumo humano y, por consiguiente, se vierten volúmenes considerables de aguas residuales, como producto de las actividades cotidianas.

4.1 Cobertura de tratamiento de aguas residuales en Nicaragua en zonas urbanas del país

De acuerdo con el informe presentado por la ENACAL a 2010, la cobertura de agua potable se incrementó de 72 a 84%, pero la cobertura de alcantarillado sanitario aún presenta un rezago; sin embargo, se ha logrado un incremento de 33 a 39% de 2007 a 2010. Asimismo, el tratamiento de las aguas servidas se ha incrementado en 200%, en 2010 respecto de la cobertura existente en 2007 (ENACAL, 2010). Resulta importante destacar que la ENACAL brinda sus servicios principalmente a los cascos urbanos del país, lo que implica que las cifras presentadas corresponden a áreas urbanas.

Actualmente se carece de datos oficiales sobre la cobertura del tratamiento de agua residuales, pero el país cuenta con nuevas unidades de tratamiento entre la que se puede mencionar la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) de la ciudad de Managua, principal obra en el sector agua y saneamiento a nivel de la región centroamericana, instalada en el año 2009. La Planta tiene una capacidad de tratamiento de 180 m³/s; sin embargo, datos oficiales indican que la planta actualmente trata 66,6 mm³ / año. Paralelamente a la instalación de la Planta se ha facilitado la conexión a 121 mil usuarios al alcantarillado sanitario en la ciudad de Managua (ENACAL, 2010). El proyecto es parte del programa de saneamiento del Lago Xolotlán, donde se vertían las aguas servidas desde 1927, con lo que se pretende recuperar este recurso para recreación sin contacto y promover el saneamiento de la ciudad de Managua (Figura 4.1).

El Gobierno ha efectuado esfuerzos para rehabilitar las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de las ciudades de León, Chinandega, Rivas, Nagraote, Granada y El Viejo. Asimismo, planea la reparación de otras 25 plantas de tratamiento en todo el país (ENACAL, 2010).

4.2 Cobertura de tratamiento según nivel económico

Hablar de cobertura de tratamiento de aguas residuales en Nicaragua es difícil, ya que se considera que las aguas servidas que reciben tratamiento son aquellas que se disponen por el sistema de drenaje sanitario, cuya cobertura en las áreas urbanas es solamente de 39% (ENACAL, 2010). Sumado a este escenario es importante notar que no todos los sistemas de alcantarillado disponen las aguas en una planta de tratamiento, y no todas las plantas de tratamiento de aguas servidas tratan 100% del agua que reciben.

En Managua todo el casco urbano del antiguo centro (antes del terremoto de 1972) y del nuevo centro de Managua, incluyendo barrios populoso localizados en las zonas periurbanas cuya existencia data de antes de los años 80, cuentan con alcantarillado sanitario, no así los asentamientos espontáneos que tuvieron su auge en la década de los años 80 y 90, como producto de la migración interna del país, donde la población rural emigró a las áreas urbanas, producto de la guerra en los años 80, hambrunas y

4.3 Tratamiento de aguas grises

eventos extremos como sequías, inundaciones y presencia de huracanes. La proliferación de estos asentamientos humanos sin previsiones urbanísticas ha significado que muchos de éstos no cuentan a la fecha con sistemas de alcantarillado sanitario.

Para dar solución a esta problemática, el Gobierno a través de la ENACAL ha efectuado esfuerzos para superarla. Se menciona que en el proyecto de la construcción de la planta de tratamiento de aguas servidas de Managua, se incrementó la cobertura del alcantarillado sanitario en algunos asentamientos humanos de la capital, y en el Proyecto de Implementación del Alcantarillado Sanitario Condominial se instalará un sistema novedoso, que consiste en una red de conexiones en régimen de propiedad horizontal dentro de cada cuadra, las cuales están conectadas con la tubería colectiva a través de una caja de inspección (ENACAL, 2013). El sistema consta de colectores públicos, unidades de tratamiento. Entre los beneficios de este sistema se destacan bajos costos y fácil construcción de conexiones domésticas, mayor número de conexiones, uso de tuberías de menor diámetro y participación de la población en los proyectos. Los asentamientos que cuentan con este tipo de sistemas son; Arnoldo Alemán, Lomas de Guadalupe, Maria Dolores Alemán, Israel Galeano, Comandante Aureliano, Nueva Sabana, Villa Reconciliación Norte, Carlos Núñez, Georgiano Andrade, Laureles Norte, Parrales Vallejos y Pedro Aráuz Palacios. El Proyecto atenderá a más de 120 mil pobladores de 27 barrios capitalinos, con una inversión de 320 millones de córdobas financiados con fondos del Banco Mundial y del Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional (ENACAL, 2013).

En cambio, las nuevas urbanizaciones de la capital de clase media a alta, que en su mayoría se ubican fuera del perímetro del área urbana de Managua, no pueden conectar sus drenajes sanitarios al sistema de alcantarillado sanitario de la ciudad; por consiguiente, las mismas cuentan con sus propios sistemas de tratamiento de aguas servidas, a manera de sistema individual denominado fosas sépticas, hasta sistemas colectivos de alcantarillado sanitario y planta de tratamiento de aguas servidas propias, que consisten en plantas compactas o paquetes correspondientes a sistemas con lodos activados, Tanque Imhoff, entre otros.

Actualmente, la capacidad instalada para el tratamiento de aguas residuales municipales consiste en 32 plantas en todo el país, entre las cuales se encuentran las de tipo: Sistema de Lagunas, Tanque Imhoff seguido de filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), Tanque Imhoff seguido de biofiltro, Fosa Séptica seguido de filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), un sistema UASB y un sistema moderno (Planta de Managua) integrado por procesos físicos y biológicos de remoción que consiste en sedimentadores primarios, filtro por goteo y sedimentadores secundarios. Resulta importante destacar que más de 55% de las plantas de tratamiento corresponden a Sistema de Lagunas; sin embargo, esta política ha cambiado debido a restricciones presupuestarias y disponibilidad de áreas adecuadas para la construcción de los sistemas de laguna (ENACAL, 2009).

En Nicaragua las aguas residuales municipales que fluyen por los alcantarillados sanitarios integran aguas grises, aguas negras y en época de lluvia aguas pluviales de algunas viviendas que han conectado su drenaje pluvial al sistema de forma ilegal. Esta situación trae como consecuencias que la composición de las aguas residuales domésticas presente alta carga orgánica, alta concentración de nutrientes como nitratos y fósforos, abundante presencia de grupos patógenos, sedimentos y detritos (IANAS, 2012).

Figura 4.1 Moderna planta de tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Managua



La mayoría de los sistemas de tratamiento implementados en el país, bajo óptimas condiciones de operación, resultan ser eficientes en la remoción de carga orgánica y sólidos en suspensión, y poco eficientes en la remoción de nutrientes y patógenos; sin embargo, la mayoría de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas del país se encuentra en un estado avanzado de deterioro por la falta de mantenimiento (Figuras 4.2a y b), mala operación, así como dimensionamiento (IANAS, 2012).

4.4 Reúso (éxitos y problemas)

En la actualidad no se dispone de datos sobre el volumen o la fracción de agua tratada reutilizada; posiblemente esta fracción es mínima, debido a que generalmente la disposición final de los efluentes tratados se efectúa en cuerpos de agua superficiales tales como lagos y ríos.

La reutilización del agua tratada en el país no es una práctica común; quizás esto se debe a que los sistemas de tratamiento de aguas residuales del país han resultado ser poco eficientes en la remoción de patógenos, lo que no facilita la reutilización de las mismas (ENACAL, 2009).

4.5 Reintegración del agua al ambiente o ecosistemas

Los efluentes de las aguas tratadas de las plantas de tratamiento de aguas residuales del país en su mayoría retornan a los cuerpos de agua superficiales; por ejemplo, el efluente de las aguas residuales de la Planta de tratamiento de aguas servidas de Managua es depositado en el Lago Xolotlán, a través de un emisor sumergido ubicado a una distancia de 1/2 de la costa. Los efluentes de plantas de tratamiento de Granada y San Juan del Sur son vertidos a través de escorrentía en el Lago de Cocibolca; los efluentes de la planta de tratamiento de Masaya son depositados en el lago de Masaya, entre otros (ENACAL, 2010). Por ejemplo, la reintegración de las aguas tratadas al lago de Masaya (Figura 4.2) ha resultado en el deterioro de las aguas del lago, causando anoxia en 80% de la columna de agua (CIRA/UNAN, ENACAL, 2013).

En el caso de los efluentes tratados de las urbanizaciones se dispone a través de pozos de infiltración, lo cual se convierte en un latente riesgo de contaminación para las fuentes de aguas subterráneas y muchas de éstas se ubican en el área de recarga de la Cuenca Sur de la ciudad de Managua.

Figura 4.2 Estado de mantenimiento de las lagunas de oxidación de la ciudad de Masaya



La reintegración de las aguas tratadas al ambiente, a los ecosistemas acuáticos, es muy factible si estas aguas no se constituyeran como una amenaza y un tensor ambiental para los cuerpos receptores que las reciben; sin embargo, en la práctica no resulta así, debido a la alta deficiencia de los tratamientos, al punto que las aguas tratadas de estas plantas en su mayoría concentran grandes cantidades de grupos de patógenos, concentraciones de nitrógenos, fósforos y detergentes, carga orgánica, entre otros, lo cual se convierte en una amenaza desde el punto de vista limnológico y sanitario.

Tabla 5.1 Las enfermedades de origen hídrico y su clasificación

Clasificación	Mecanismo	Tipo de Enfermedades
Transmisión hídrica	Contaminación humana o animal	Cólera, fiebre tifoidea, shigelosis, poliomielitis, meningitis, hepatitis, diarrea.
Cuyo origen son cuerpos de agua	Seres vivos que parte de su ciclo de vida lo hacen en huéspedes acuáticos	Esquistosomiasis, enfermedades causadas por nemátodos, tremátodos y cestodos.
Vectoriales relacionadas al agua	Relacionada a vectores que se desarrollan en el agua	Malaria, dengue, fiebre amarilla, filariasis.
Relacionada con la escasez de agua	Escasez de agua dulce y deterioro en la sanidad del agua	Tracoma, tiña, pediculosis, escabiosis.

5. Agua y salud urbana

5.1 Concepto, definición y clasificación de las enfermedades de transmisión hídrica

Las enfermedades de origen hídrico son aquellas que están relacionadas con el consumo, uso y disponibilidad del agua. Algunos autores realizan una clasificación con base en los agentes o sustancias que puedan causar daño en la salud, dentro de las que se destacan las enfermedades virales y parasitarias. Otros autores las agrupan en enfermedades transmitidas por el agua, en enfermedades originadas en el agua, en enfermedades vectoriales relacionadas con el agua y en enfermedades producto de la escasez de agua (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, 2009).

Las enfermedades de transmisión hídrica que más se mencionan para los sectores urbanos en Latinoamérica se pueden resumir en: dengue, malaria, leptospirosis, disentería viral y bacteriana, enfermedad diarreica aguda (EDA) y otras.

5.2 El desarrollo urbano y su efecto en la salud humana

Una urbanización es un centro residencial compuesto por viviendas que muestran características semejantes y que se encuentran dotada de servicios eléctricos, agua potable, alcantarillado, transporte público, acceso a la educación, empleo y servicios.

A pesar de todo lo bueno que una urbanización puede conllevar, no se pueden dejar de mencionar los aspectos negativos de la misma. Las compañías

urbanizadoras en Nicaragua construyen en su mayoría en áreas en las que el agua potable y el alcantarillado no están siempre accesibles, por lo que tienen que construir pozos para obtener agua potable y lagunas de oxidación en áreas muy cercanas entre ellas. Si no se realiza el ordenamiento sanitario de manera adecuada, puede afectar la salud humana. Un ejemplo de esto es que algunas compañías urbanizadoras tratan parcialmente las aguas servidas y, por aspectos económicos, las infiltran de nuevo al subsuelo, lo que conlleva un alto grado de contaminación del manto acuífero, que en un periodo de tiempo corto se convertiría en agua no apta para el consumo humano. Otro aspecto es la topografía en que se desarrollan las nuevas urbanizaciones, las cuales en muchos casos se hacen a orillas de cauces sin las debidas protecciones, convirtiéndose las mismas en zonas de inundaciones ante la presencia de fuertes precipitaciones pluviales y focos de enfermedades vectoriales.

5.3 Indicadores de salud

Se abordará la situación de salud específicamente en la ciudad de Managua. Con base en la información disponible se muestran indicadores de mortalidad tales como mortalidad general, mortalidad en menores de cinco años y la mortalidad por enfermedades diarreicas agudas.

Mortalidad general en la ciudad de Managua

Este indicador considera el total de defunciones por todas las causas ocurridas en la población de Mana-

gua. A partir del año 2006 se observa un aumento sostenido en las tasas de mortalidad general; igual tendencia se observa a nivel de los diferentes distritos (Figura 3.1, mapa con distritos indicados) de la ciudad de Managua.

La Figura 5.1 muestra que la mayor tasa de mortalidad general se encontró en el Distrito IV para el período 2006-2011, área que correspondía al antiguo casco urbano de la ciudad de Managua y que fue destruida por el terremoto del año 1972. Para este distrito se estima una densidad poblacional de 16 mil 248 habitantes por km² y dentro de sus límites se encuentra el mayor generador de desechos sólidos de la ciudad de Managua: el Mercado Oriental, que produce un promedio anual de 41 mil 300 m³ de basura. Otro de los aspectos del Distrito IV que puede contribuir a su mayor índice de mortalidad es su cercanía con el Lago Xolotlán, fuente de criaderos de insectos por la alta presencia de aguas estancadas (Colecciones NiKa CyberMunicipio, 2013).

Mortalidad en menores de cinco años

La mortalidad en menores de cinco años es un indicador sensible, ya que refleja la totalidad de defunciones por diferentes causas en este grupo de edad, incluyendo a los menores de un año. A nivel de la ciudad de Managua se observa también un aumento en los años estudiados, presentando el Distrito VI el mayor incremento en el período 2007- 2011 (Figura 5.2). Este distrito cuenta con 167 barrios, de ellos cuatro son residenciales, 31 son barrios populares, 47 son urbanizaciones progresivas, 85 son asentamientos espontáneos y cuatro son comarcas (Colecciones NiKa CyberMunicipio, 2013) y se caracteriza por ser el que tiene la mayor cantidad de kilómetros lineales colindantes con el Lago Xolotlán. También se caracteriza por poseer cifras de 53,3% de habitantes en la categoría de pobres y pobreza extrema, a pesar de que la mayor parte de la zona industrial existente en la capital se encuentra ubicada en este distrito (Alcaldía de Managua, 2011).

La enfermedad diarreica aguda

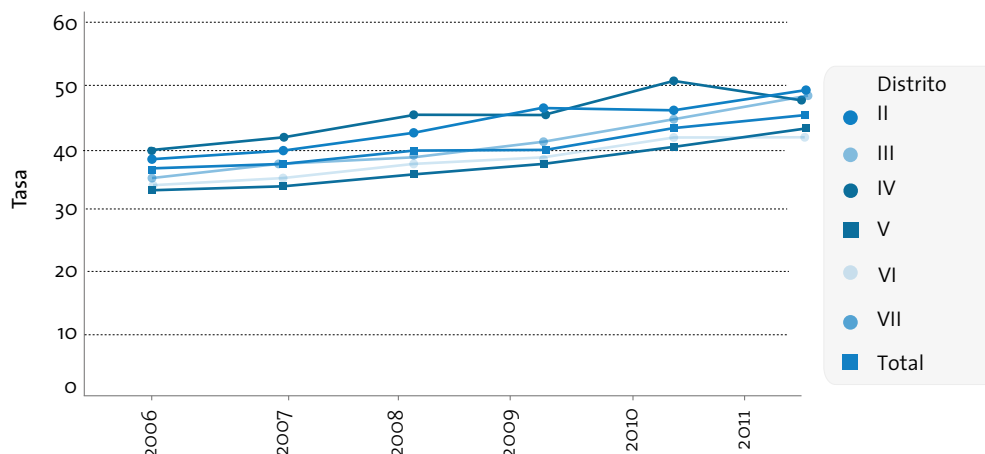
En cuanto a la mortalidad por EDA, ésta es relativamente baja si se toma en consideración el total de defunciones reportadas en la ciudad de Managua, dado que en el año 2010 se reportaron 21 defunciones por EDA de un total de 4 mil 296 fallecidos por todas las causas. Para el año 2011 se registraron siete

defunciones por esta misma causa de un total de 4 mil 493 fallecidos. En el año 2010, el 42.8% de las defunciones por diarrea se presentaron en menores de un año y, en 2011, el 85.7% de las defunciones por EDA se dieron en este mismo grupo de edad, lo que evidencia la alta susceptibilidad que tienen los menores de un año ante las enfermedades diarreicas agudas. En los dos años de revisión de mortalidad por EDA, los distritos que mayor mortalidad reportaron fueron el Distrito VI y el Distrito II con 12 y 8 defunciones respectivamente. Se considera que la reducción de casos de defunciones por EDA en los últimos años asociada en parte a las mejoras de la calidad de los servicios hidrosanitarios, además de que la misma guarda relación con la introducción en el esquema de vacunación de los niños contra el rotavirus, agente causal de gran parte de las EDA, así como el nivel de atención de servicios médicos y el nivel de educación sanitaria de la población en general para un oportuno y efectivo tratamiento de este importante problema de salud.

5.4 El agua y las enfermedades vectoriales dengue y malaria

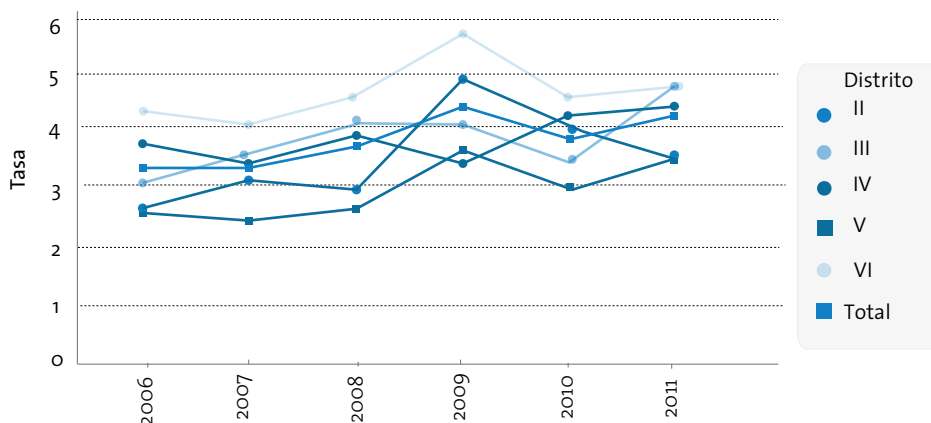
El dengue es una enfermedad infecciosa causada por un virus del género flavivirus, y que es transmitido por los mosquitos *Aedes aegypti* y *A. albopictus*. Las personas que padecen la enfermedad pueden infectar a los mosquitos que le piquen o chupen sangre y de esta forma promover el ciclo de trasmisión del virus. Existen cuatro serotipos del virus del dengue (DEN1, DEN2, DEN3 y DEN4); cualquiera de estos serotipos puede producir la enfermedad. El más frecuente en el dengue clásico es el Serotipo 1. El cuadro clínico se caracteriza por presentar un cuadro febril agudo, con intenso malestar general, acompañado de erupción cutánea. Puede presentar síntomas hemorrágicos de variada a moderada intensidad, como sangramiento gingival y nasal hasta *shock* y muerte. El *A. aegypti* es una especie diurna, con mayor actividad de picadura dos horas después de la puesta de sol y varias horas antes del amanecer. Vive y deposita huevos en los alrededores e interior de las casas, en recipientes utilizados para el almacenamiento de agua para las necesidades domésticas y en jarrones, neumáticos viejos y otros objetos que hagan las veces de envase de agua.

Figura 5.1 Mortalidad general por distrito de la ciudad de Managua, 2006-2011



Fuente: Dirección General de Planificación y Sistemas de Información, MINSA

Figura 5.2 Mortalidad en menores de cinco años por distritos de Ciudad Managua, 2006-2011



Fuente: Dirección General de Planificación y Sistemas de Información, MINSA

El dengue a nivel de país ha tenido un comportamiento cíclico, el que según las investigaciones de la unidad de agua y salud del CIRA/UNAN no necesariamente está relacionado con la cantidad de precipitación que sufre el país (Figura 5.4).

Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS), los ciclos epidémicos que está presentando la enfermedad son debidos a que “el programa de erradicación propuesto en años pasados no fracasó, sino que, luego de una erradicación exitosa del vector por los países participantes, hubo un relajamiento de la vigilancia y esto dio como resultado la

reinfestación y, a renglón seguido, la introducción de los diversos serotipos del virus, aspecto que terminó agravando la situación del dengue en la región” (Dr. Jorge R. Arias, asesor regional de la OPS en enfermedades transmisibles) (AP *agendapropia.com*, 2012).

La Figura 5.3 muestra la situación de casos de dengue (clásico) a nivel de Nicaragua en los últimos 10 años. Se nota que durante los diez años mencionados han acontecidos dos grandes epidemias: la de los años 2009-2010 y la de 2012-2013.

La Tabla 5.2 compara a nivel nacional las tasas de incidencia por 10 mil habitantes en los diez años

de estudio y muestra que la mayor tasa de incidencia del dengue grave (hemorrágico), sin tomar en consideración la epidemia de 2013, fue en el año 2005 (0.32 casos por cada 10 mil habitantes).

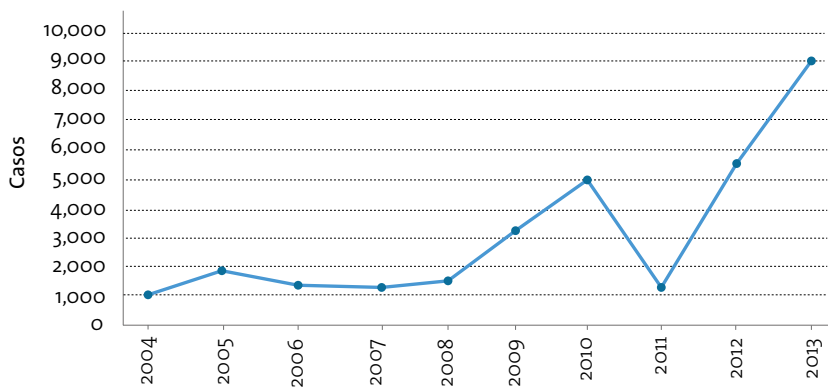
El año 2013 fue el año de mayor incidencia de dengue clásico en la serie estudiada. Para este periodo la situación con relación al dengue se agravó por la circulación de distintas cepas del virus.

El incremento del dengue en los últimos años se puede atribuir a un incremento del riesgo por la presencia del vector *A. aegypti* en zonas periurbanas

y localidades rurales de nuevo crecimiento poblacional. También contribuye a este comportamiento la existencia de una epidemia generalizada en la región de las Américas, en donde es prácticamente imposible evitar la circulación de personas entre los diferentes países. El desarrollo de dengue en la ciudad de Managua se observa en la Tabla 5.3.

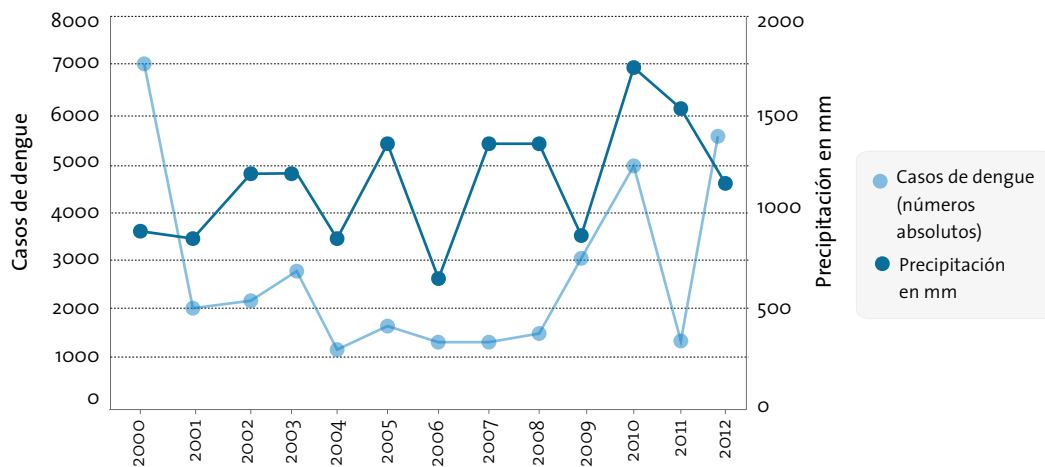
A nivel de la ciudad de Managua, el Distrito II fue el que en el último quinquenio (sin tomar en cuenta la epidemia de 2013) presentó el mayor número de casos de dengue. Este distrito se caracteriza por

Figura 5.3 Casos de dengue en Nicaragua, 2004–2013



Fuente: 1.- Sistema Nicaragüense de Vigilancia Epidemiológica Nacional (SISNIVEN) 2.- OPS/OMS, Boletines Informativo, http://www.paho.org/nic/index.php?option=com_content&view=article&id=549&Itemid=286, revisado el 21 de agosto de 2014.

Figura 5.4 Relación entre pluviosidad y casos de dengue a nivel de país, 2000–2012



Fuente: Casos- Sistema Nicaragüense de Vigilancia Epidemiológica Nacional (SISNIVEN); Precipitación-Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER)

Tabla 5.2 Tasas de incidencia del dengue y dengue grave, 2004-2013

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Dengue	1.86	3.16	2.33	2.52	2.56	5.7	10.03	2.53	10.77	17.34
Dengue Grave	0.17	0.32	0.10	0.021	0.009	0.021	0.015	0.002	0.10	NR
Población *	5,374	5,483	5,522	5,595	5,668	5,749	5,815	5,896	5,962	6,024

Fuente: Sistema Nicaragüense de Vigilancia Epidemiológica Nacional (SISNIVEN). Tasa por 10,000 habitantes. NR: No Reportados por el Ministerio de Salud. *Población: Población expresada en miles.

Tabla 5.3 Casos de dengue por distrito en la ciudad de Managua, 2008-2012

Distrito	2008 %	2009 %	2010 %	2011 %	2012 %	Total %
II	9120.6	46037.5	82046.6	15949.3	39263.9	192244.1
III	296.5	12310.1	1086.2	329.9	264.3	3187.3
IV	265.9	907.4	1578.9	144.3	111.8	2986.8
V	14432.6	35128.6	44425.2	5115.8	528.5	104223.9
VI	15234.4	20116.4	23013.1	6720.7	13221.5	78217.9
Total	442100.0	1225100	1759100	323100.0	613100.0	4362100

Fuente: Ministerio de Salud.

albergar al histórico botadero de basura municipal de Managua y por estar colindante con la costa del Lago Xolotlán.

En cuanto a las precipitaciones pluviales (Figura 5.4) en la ciudad de Managua, en la primera década del milenio (2000-2010) osciló entre 675 y 1435.9 mm de lluvia anual, observándose que la mayor cantidad de casos de dengue presentados en la ciudad de Managua no siempre se correspondieron con los años de mayor precipitación pluvial, orientando a pensar que existen otros factores que contribuyen a la proliferación del dengue además de las lluvias.

Uno de estos factores que se considera de gran importancia en la diseminación del dengue es la acumulación de agua en los hogares, dado que los resultados de las encuestas entomológicas realizadas en los diferentes meses del año establece que los depósitos preferenciales del vector son aquellos en donde se guarda agua intradomiciliariamente (76% de positividad para la presencia del *A. aegypti*), clasificados como barriles 70.4% y las pilas con 28.6%. Los no útiles (llantas viejas, botellas en desuso, etcétera) representan 21% y los criaderos naturales 3% (Ministerio de Salud de Nicaragua, 2009). De acuerdo con los indicadores para analizar la presencia del vector, en el año 2008 el índice de vivienda con criaderos a nivel nacional fue de 4.2; para el mismo período en el año 2009, el índice de vivienda acumulado de las encuestas entomológicas a nivel nacional fue de 4.0, lo que evidencia que los valores de los resultados de

las encuestas entomológicas realizadas por los SILAIS (Sistema Local de Atención Integral en Salud) no tuvieron ninguna variabilidad significativa; sin embargo, los casos de dengue en la ciudad de Managua pasaron de 442 a 1 mil 225 para dicho período. Así que la epidemia de dengue no guarda una íntima relación con los índices entomológicos larvarios en áreas urbanas ni con las intensidades de precipitación.

En 2013 se puede afirmar que el vector se encuentra presente en todas las cabeceras municipales del territorio nacional (Tabla 5.4), en localidades menores e incluso se ha logrado dispersar y colonizar amplias zonas rurales, sobre todo las que se encuentran a la orilla de las principales carreteras del país. Esto, más los efectos que se comienzan a sentir del cambio climático en cuanto a temperaturas ambientales y régimen de lluvias y sequía, hacen prever que el dengue se pueda diseminar a zonas que históricamente no han padecido la enfermedad, como las rurales y las regiones altas, ligado a las condiciones favorables para la reproducción del vector.

En los últimos cuatro años, los seis SILAIS de mayor densidad poblacional (marcado en la Tabla 5.4) son los que presentan mayor cantidad acumulada de casos de dengue (72% del total de los casos a nivel nacional), en donde destaca la ciudad de Managua.

A pesar de las altas incidencias de dengue en la región latinoamericana, Nicaragua presenta relativamente bajas tasas en sus últimos años gracias a las campañas de salud de búsqueda activa y atención

inmediata y temprana de todos los casos febriles que se presentaban, además de las campañas educativas y de sensibilización a la población general. Otro aspecto que no se puede dejar de mencionar es la capacitación a todo el personal de salud para el manejo adecuado y temprano de los casos de dengue.

En conclusión, el suministro de agua con mayor continuidad podría aportar un paso importante en torno al mejor control del vector. Se necesitan programas más amplios que contemplen un suministro de agua más constante y permanente en los domicilios donde las familias no tengan que estar guardando agua en recipientes, servicios de alcantarillados funcionando, control de los desperdicios sólidos con principal énfasis en el uso y desecho de llantas inutilizadas, además de una adecuada vigilancia entomológica y epidemiológica intra y extradomiciliar.

La malaria es una enfermedad de origen parasitario que involucra fiebres altas, escalofríos, síntomas pseudo gripales y anemia. La malaria –o paludismo– es causada por un parásito del género *Plasmodium* que se transmite de un humano a otro por la picadura de mosquitos anofeles infectados y por transfusiones sanguíneas; los parásitos ingresan

al torrente sanguíneo e infectan los glóbulos rojos. Esta enfermedad constituye un problema mayor de salud en gran parte de los países tropicales y subtropicales. Los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades de los Estados Unidos (CDC, por sus siglas en inglés) calculan que cada año se presentan de 300 a 500 millones de casos de malaria y que más de un millón de personas muere a causa de ella.

En la transmisión de esta enfermedad se conjugan factores ambientales relacionados con la disponibilidad de un medio acuático para la reproducción de su mosquito vector, de factores socioeconómicos, culturales y de estilos de vida de las poblaciones humanas expuestas, que se constituyen en factores determinantes en su mecanismo de transmisión y, por lo tanto, en su incidencia y prevalencia.

En Nicaragua, las estrategias adoptadas por el Gobierno del país han impactado positivamente en la lucha contra la malaria. El número de casos de esta enfermedad ha caído dramáticamente en los últimos años: de más de 70 mil casos reportados en el año 1996 (Sequeira M, 2010) a 464 casos en 2012 (Ministerio de Salud, 2013). Es de señalar también que Nicaragua es uno de trece países latinoamericanos que

Tabla 5.4 Casos y tasas acumulados de dengue por SILAIS en Nicaragua

SILAIS	2010		2011		2012		2013		Total de casos
	Casos	Tasa	Casos	Tasa	Casos	Tasa	Casos	Tasa	
Managua	2452	19.41	366	2.9	2351	18.61	3424	27.11	8593
Leon	443	12.45	74	2.08	165	4.64	852	23.95	1534
Chinandega	156	4.12	132	3.48	244	6.44	933	24.62	1465
Chontales	267	8.67	164	5.33	279	9.06	433	14.07	1143
Masaya	250	8.62	80	2.76	398	13.72	409	14.1	1137
Matagalpa	233	4.49	205	3.95	443	8.54	239	4.61	1120
Esteli	197	9.77	39	1.94	294	14.59	388	19.25	918
Carazo	294	17.7	22	1.32	73	4.4	396	23.84	785
Jinotega	100	3.02	35	1.06	394	11.89	111	3.35	640
Granada	96	5.71	27	1.61	329	19.56	139	8.26	591
Nueva Segovia	76	3.64	19	0.91	139	6.67	333	15.97	567
Boaco	93	6.17	16	1.06	104	6.9	282	18.72	495
Madriz	94	7.1	13	0.98	46	3.47	298	22.5	451
Rio San Juan	132	13.81	34	3.56	70	7.32	156	16.32	392
Rivas	158	10.11	6	0.38	80	5.12	126	8.06	370
RAAS	18	1.49	43	3.56	77	6.37	174	14.4	312
Las Minas	53	3.17	29	1.74	33	1.98	118	7.06	233
Bilwi	44	3.4			17	1.31	103	7.95	164
País	5156	10.03	1304	2.536	5536	10.77	8914	17.34	20910

entre 2010 y 2011 lograron reducir los casos de malaria en 75%, según informó la Organización Mundial de la Salud (OMS) (2012). Los logros antes señalados han llevado al país a obtener el reconocimiento como “Campeón contra el Paludismo en las Américas 2011” por parte de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y de estar en vías de cumplimiento de los criterios de pre-eliminación de la malaria, por lo que se considera al país en vías de la eliminación de esta enfermedad y en cumplimiento de las metas del milenio para el año 2015, metas de desarrollo socioeconómico establecidas por la ONU en el año 2000 (Ministerio de Salud, 2012).

En cuanto al comportamiento de la malaria en los distritos de la ciudad de Managua, el Distrito VI es el que presenta el mayor porcentaje de casos reportados (42.3%) para un total de 22 casos. Cabe señalar que en estos cinco años de revisión de casos de malaria (2008-2012), en concordancia con el comportamiento de la enfermedad a nivel nacional, en el departamento de Managua, se observa una disminución sostenida de casos de malaria.

En términos generales se puede señalar que la disminución de los casos de malaria en la ciudad de Managua está en relación con la política de gobierno hacia el saneamiento de la costa del Lago Xolotlán, la participación comunitaria en la eliminación de charcas y agua estancadas principalmente en los barrios periféricos de la ciudad y en la preocupación del Ministerio de Salud en acciones de fumigación, captación y tratamiento temprano de toda persona febril sospechosa de padecer esta enfermedad.

6. Variabilidad y cambio climático, su impacto en el recurso agua en ciudades

6.1 El cambio y la variabilidad climática en Nicaragua

Nicaragua ocupa el centro de la angosta franja de Centroamérica. Esta posición geográfica hace que el territorio esté naturalmente expuesto a los fenómenos meteorológicos de los océanos Atlántico y Pacífi-

co. La situación natural es agravada por la intensidad y frecuencia de los eventos extremos del cambio y la variabilidad climática. La vulnerabilidad del país se incrementa ante esta situación.

El Monitor de Vulnerabilidad Climática, una evaluación realizada por la organización española de investigación humanitaria (DARA, 2010), ubica a Nicaragua dentro de los países con vulnerabilidad aguda a severa con variación de muy severa a muy aguda para 2030, principalmente en los desastres en la economía y vivienda.

6.2 Ciudades en zonas secas y cómo organizan el suministro

De acuerdo con el mapa de sequía del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), para el período 1970-1977 las ciudades vulnerables a este fenómeno meteorológico con grado de sequía muy severa son: Chinandega, Somoto, Matagalpa y Jicalpa. Presentan un grado de sequía severa: León, Managua, Masaya, Granada, Jinotepe, Rivas, Estelí, Boaco, San Carlos (Figura 6.1).

6.2.1 Ciudades en zonas secas de Nicaragua

6.2.1.1 Variabilidad climática

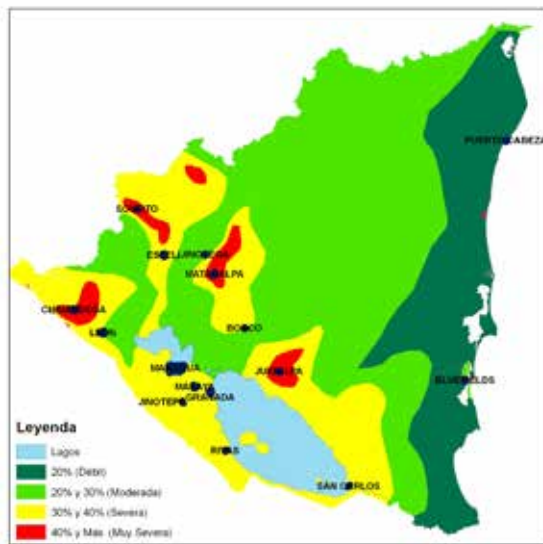
La Figura 6.1 refleja que tanto la franja costera del Pacífico como parte de la Región Central es amenazada por sequía. En el Pacífico se reportan anomalías de -34.5% (-516.0 mm) en 1976; -32.7% (-490.0 mm) en 1972 y -26.5% (-397.0 mm) en 1997, con afectación principalmente en los meses de julio, agosto, septiembre y octubre.

Los déficits más fuertes de precipitación registrados en la región del norte, se han presentado en 1972 con -19.0% (-230 mm) y en 1976 con -18.0% (-214.0 mm).

Recurrencia de sequías

El INETER, en su publicación *La sequía en Nicaragua*, determinó los años secos en el período 1970-2000 para todo el territorio nacional. En la región del Pacífico, donde se encuentran las ciudades de Chinandega, Managua, Masaya, Granada, Jinotepe y Rivas, entre 1971 y 1998, se distinguen como de sequía extrema cuatro años: 1973, 1993, 1995 y 1998, y como años secos: 1972, 1976, 1977, 1987, 1989, 1990, 1991, 1992, 1994 y 1997, la mayoría asociados al fenómeno de El Niño.

Figura 6.1 Ciudades afectadas por sequía y grado de afectación



Fuente: Mapa de Sequía 1970-1977, reelaborado a partir del Mapa INETER

En la Región Central, donde se asientan las ciudades de Somoto, Estelí, Jinotega, Matagalpa, Boaco, Juigalpa y San Carlos, se consideran bajo la influencia del fenómeno de El Niño los años: 1971, 1972, 1976, 1977, 1983, 1984, 1985, 1987 y 1992.

Acceso al Agua

Las ciudades del Pacífico cuentan con buenos acuíferos que son las fuentes principales del acceso a agua potable. En las ciudades de la Región Central el abastecimiento es principalmente de ríos y manantiales. Las pequeñas poblaciones se abastecen de pozos de baja productividad. En algunos casos se recurre al trasvase de agua.

6.2.1.2 Vulnerabilidad

La demanda actual no es satisfecha por el crecimiento rápido de la población. Por otro lado, los pozos no son totalmente penetrantes, por lo que el acuífero no es explotado a su capacidad. Durante el verano los niveles de agua subterránea disminuyen y, durante la época de sequía, los pozos alcanzan su nivel mínimo o se secan. La calidad del agua se deteriora durante las sequías por acumulación de sales, materia orgánica y diferentes residuos. Estas sustancias se lixivian a acuíferos someros.

6.2.1.3 Mitigación y adaptación

Actualmente, la principal medida de adaptación es la construcción de nuevos pozos y trasvase de agua desde acuíferos y ríos. Durante el verano o época de sequía, las oficinas municipales en muchas ciudades se encargan de abastecer de agua a los pobladores en cisternas ambulantes, la que llega regularmente a los barrios más afectados. En algunos lugares que poseen mejor abastecimiento se establecen puestos para los lugares donde hay problemas.

Algunos pobladores han optado por medidas más drásticas, realizando excavaciones en la red de abastecimiento y directamente toman agua de la tubería. (Figura 6.2).

6.2.2 Ciudades en zonas con peligro de inundación en Nicaragua

El mapa de riesgo por inundación (INETER 2006), muestra las principales ciudades que presentan amenaza de inundación: Managua, Estelí, Matagalpa, San Carlos, Bluefields y Puerto Cabezas (Figura 6.3).

6.2.2.1 Variabilidad Climática

Las inundaciones son una de las principales amenazas de la variabilidad climática en Nicaragua. Un estudio realizado por la UNAN-Managua (López, Reyes, Gutiérrez, Alfonso y Alfonso, 2011) acerca del cambio climático y salud humana, refleja que debido a la pérdida de más de 85% de los bosques tropicales secos y 65% de los bosques húmedos, los suelos se han degradado, aumentando la vulnerabilidad ante los impactos del cambio climático.

6.2.2.2 Recurrencia de inundaciones

Fuente especificada no válida, en su artículo “¿Qué es La Niña?”, evalúa las lluvias abundantes y extremas durante los últimos 100 años (evaluación hasta el año 2000). El evento de mayor afectación al país, el Huracán Mitch, tuvo lugar en octubre de 1998 y destruyó completamente el poblado denominado Rolando Rodríguez, una pequeña ciudad de 2 mil habitantes, ubicada al este de Chinandega.

6.2.2.3 Vulnerabilidad

Las corrientes generadas por lluvias torrenciales y eventos huracanados escurren de manera rápida hacia las partes más bajas debido al deterioro de las cuencas (Figura 6.3).

Casi todas las ciudades cabeceras departamentales de Nicaragua están ubicadas en las zonas de planicie de los ríos o cauces intermitentes, lo que las hace altamente vulnerables.

La Organización GermanWatch, a través del Índice de Riesgo Climático (CRI) (Sönke y Eckstein, 2014), que analiza el impacto cuantitativo de los eventos extremos a nivel mundial, ubica a Nicaragua para el año 2014 en el cuarto lugar de vulnerabilidad ante estos eventos. En el cálculo de pérdidas económicas reflejadas en el Informe de GermanWatch, asciende a US\$ 224.61 PPP.¹

6.2.2.4 Mitigación y adaptación

Las causas directas de las inundaciones son el resultado de fenómenos complejos que deben ser estudiados a detalle. Las causas principales de las inundaciones son una red de drenaje pluvial obsoleta, la deposición de desechos sólidos en alcantarillas y el mal manejo de suelos. En algunas ciudades se utilizan micro presas como disipadores de energía ante las fuertes corrientes, lo que disminuye el peligro ante inundaciones. En muchas cuencas se realizan actividades de reforestación, las que muchas veces son limitadas a pequeñas áreas, por lo que la incidencia al cambio es baja.

6.3 Análisis de la vulnerabilidad de las principales ciudades de Nicaragua

Se ha realizado un análisis de vulnerabilidad y adaptación al cambio y la variabilidad climática de las principales ciudades afectadas de Nicaragua, utilizando la ecuación de vulnerabilidad. Ecuación 1:²

$$(1) \text{ Vulnerabilidad} = \text{Exposición} + \text{Sensibilidad} - \text{Capacidad}$$

Los factores de vulnerabilidad (exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación) se evalúan en la fórmula asignándole tres rangos (alto, medio y bajo) y a cada rango se le asigna un valor (1, 2 y 3). Tabla 6.1.

1. PPP - Paridades de Poder Adquisitivo (Purchasing Power Parities). Herramienta que compara los costos de bienes y servicios de un país con respecto a otro.
 2. Preston *et al.*, 2008; Allen Consulting, 2005; Metzger *et al.*, 2005; Smit and Wandel, 2006.

Figura 6.2 Adaptación de la población ante el desabastecimiento

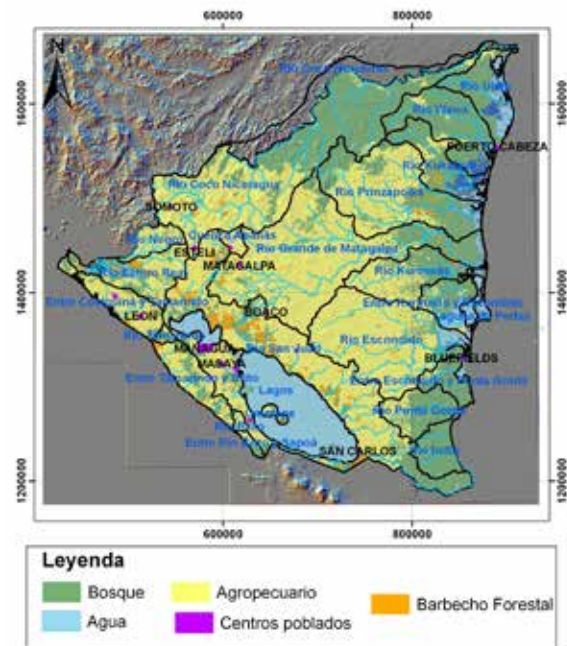


Figura 6.3 Mapa de amenaza por inundación en ciudades



Fuente: Reelaborado a partir del Mapa INETER.

Figura 6.4 Zonificación del área boscosa de Nicaragua



Fuente: MAGFOR, 2010

Factores de exposición: Los factores de exposición se refieren a la recurrencia de los fenómenos de sequías o inundación, afectación por deslizamientos y al tipo de suelo del área.

Factores de sensibilidad: La sensibilidad se relaciona con las condiciones de vida de la población y las actividades económicas. Se toma en cuenta el uso de suelo, la condición de la red de drenaje pluvial y tipo de vivienda de la población y densidad de población de la ciudad.

Factores de capacidad de adaptación: La capacidad de adaptación se ha medido de acuerdo con la organización de la población a la existencia de planes de riesgo, planes de desarrollo de ciudades, planes de drenaje pluvial.

Los resultados de análisis de vulnerabilidad indican que en general las ciudades del Pacífico y algunos valles de la Región Central están afectados por eventos de sequía principalmente, mientras que las de la Región Central y Atlántico están sujetas a perennes inundaciones.

Exposición: Las ciudades están expuestas a las inundaciones por encontrarse en las partes bajas de cuencas con uso de suelo inadecuado. La sequía afecta principalmente el suministro de agua, ya sea por

infraestructura de pozos o disminución del nivel del acuífero (Tabla 6.2).

La sensibilidad está referida a los factores antropogénicos que pueden incentivar las inundaciones o sequía. Un sistema de drenaje pluvial inadecuado aumenta la vulnerabilidad a las inundaciones. La deforestación aumenta la escorrentía. El tipo de vivienda influye enfocado en los materiales y normas de construcción. El futuro desarrollo de la ciudad, planificado o no, es altamente sensible porque el crecimiento es acelerado y con poco control. La Tabla 6.3 resume los datos obtenidos.

La capacidad de adaptación se considera casi la misma en todo el país, por lo que en promedio se obtienen los mismos resultados para las principales ciudades de Nicaragua (Tabla 6.4).

De acuerdo con lo evaluado se obtiene la vulnerabilidad al cambio climático de las áreas urbanas más afectadas de Nicaragua (Tabla 6.5).

De esta manera se observa que Estelí y Matagalpa se presentan como más vulnerables al cambio climático en todos los ámbitos. Las demás ciudades –y podría decirse que en general todos los centros urbanos de Nicaragua– pueden presentar vulnerabilidad media a alta.

Tabla 6.1 Rangos y valores para los atributos de la vulnerabilidad

Atributo	Rango, (H, M, L) / Valor (3, 2, 1)
Exposición (E)	Alto (3), Medio (2), Bajo (1)
Sensibilidad (S)	Alto (3), Medio (2), Bajo (1)
Capacidad de adaptación (CA)	Alto (3), Medio (2), Bajo (1)

Tabla 6.2 Exposición de las ciudades más afectadas por eventos climáticos

Ciudad	Región	Inundaciones	Sequía	Deslizamientos	Tipo de Suelo	Promedio
Managua	Pacífico	3	2	1	1	2
Estelí	Central	3	2	3	3	3
Granada	Pacífico	3	2	1	1	2
Matagalpa	Central	2	3	3	3	3
Bluefields	Caribe	2	1	1	2	2
Puerto Cabezas	Caribe	2	1	1	2	2

Tabla 6.3 Sensibilidad de las ciudades más afectadas en Nicaragua

Ciudad	Red de Drenaje Pluvial	Uso de Suelo Parte Alta	Tipo de Vivienda	Futuro Desarrollo	Sensibilidad
Managua	3	2	2	3	3
Estelí	3	2	2	3	3
Granada	3	2	1	3	2
Matagalpa	3	2	2	2	2
Bluefields	3	2	3	2	3
Puerto Cabezas	3	2	3	2	3

Tabla 6.4 Capacidad de adaptación de las ciudades afectadas en Nicaragua

Ciudad	Medidas de Conservación	Base de Datos	Capacidad Organizacional	Políticas ante el cambio climático	Sistemas de Alerta	Promedio
Managua	2	2	1	2	3	2
Estelí	3	2	1	2	3	2
Granada	2	2	2	2	3	2
Matagalpa	3	2	2	2	3	2
Bluefields	1	2	2	2	3	2
Puerto Cabezas	1	2	2	2	3	2

Tabla 6.5 Vulnerabilidad de ciudades afectadas en Nicaragua

Municipio	Exposición	Susceptibilidad	Capacidad de Adaptación	Vulnerabilidad
Managua	2	3	2	2
Estelí	3	3	2	3
Granada	2	2	2	2
Matagalpa	3	2	2	3
Bluefields	2	3	2	2
Puerto Cabezas	2	3	2	2

7. Conclusiones

En Nicaragua, aunque tiene una alta disponibilidad de agua por habitante en las zonas urbanas, sus fuentes de aguas superficiales y subterráneas han sido expuestas a impactos en la calidad de sus aguas, causados por diferentes factores de la urbanización como son: la falta de manejo de desechos sólidos, contaminación por aguas residuales industriales y domésticas, intensificación de la agricultura acompañada a la deforestación en zonas de recarga para las aguas subterráneas que son fuentes del agua para las ciudades, falta de soluciones adecuadas de drenaje que provocan la entrada de grandes cantidades de sedimentos con los aguas pluviales a los cuerpos de agua superficial, urbanizaciones informales y formales que no cuentan con un adecuado tratamiento de aguas domésticas y derrames del sistema de gasolineras con consecuencias de contaminación en las aguas subterráneas. Debido a estos impactos en la calidad de agua, se han perdido dos cuerpos de agua superficial importante: el Lago Xolotlán y el Lago Tiscapa, como posibles fuentes destinadas al agua de consumo para la ciudad de Managua.

Debido a programas de inversión destinada a mejorar el acceso a agua potable, Nicaragua ha logrado una cobertura de 98% en las zonas urbanas; existen aún problemas en la continuidad del servicio y, debido a la falta de mantenimiento a las redes de suministro, aún se encuentra pérdida del agua por fugas que pueden llegar a interrumpir el servicio o a bajar la eficiencia.

A pesar de los muchos esfuerzos de inversión por mejorar la cobertura de saneamiento, Nicaragua no ha podido lograr la meta de los ODM. Sin embargo, actualmente la mayoría de las ciudades está en un proceso de planificación y/o realizando programas de ampliación de su sistema de alcantarillado y mejoramiento o instalación de plantas del tratamiento.

En el análisis de la situación de salud de la población de Managua por las enfermedades transmitidas por el agua, se ha observado una mejora en relación con la cantidad de casos de EDA, dengue y malaria en los últimos 10 años, que se podría asociar con los esfuerzos realizados para el saneamiento de Managua en cuanto a la reducción del riesgo epidemiológico que implicaba el lago Xolotlán antes de la instalación de la Planta de Tratamiento, y el mayor

acceso de la población a los servicios públicos de salud. Sin embargo, mejorar la continuidad del acceso de agua podría reducir el riesgo aún más, ya que eliminaría la necesidad de almacenamiento de agua en formas que sirven como foco de transmisión para el dengue y otras enfermedades vectoriales.

Las ciudades de Nicaragua presentan vulnerabilidad a eventos extremos, debido al crecimiento desordenado, falta de modernización de las redes de abastecimiento y saneamiento, así como de infraestructuras en general. La falta de medidas de intervención en una adecuada gestión de cuencas hidrográficas ubicadas en zonas urbanas aumenta las áreas deforestadas, incentivando los efectos de las sequías y las inundaciones..

8. Recomendaciones

- Establecer sistemas de drenaje en las zonas urbanas adaptadas a los eventos extremos de precipitaciones intensivas, tomando en cuenta la sedimentación, aspectos geomorfológicos y topografía de las zonas urbanas. Es importante poner atención al manejo de uso de suelo, tomando en cuenta las propiedades especiales por microcuenca para prevenir la erosión que causa problemas en las ciudades y sus fuentes del agua.
- Priorizar la inversión en alcantarillado en zonas urbanas paralelo al mejoramiento o instalación de sistemas de tratamiento. Avanzar más en las programas de inversión para alcanzar la continuidad en el acceso al agua y prevenir el aumento de fugas en el sistema. Por esto es necesario reforzar la sostenibilidad financiera y la capacidad de la ENACAL para garantizar el éxito de sus programas de inversión.
- La solución a las afectaciones por el cambio climático en las ciudades, tanto como sequía o inundación, requiere de estudios que detallen la base científica hidrológica, hidrogeológica y de suelos. De esta manera los planes de ordenamiento territorial serían enfocados a la solución directa.
- Orientar los programas de urbanización a estimular la reforestación y protección de áreas de recarga para conservar los acuíferos que suministran agua a las ciudades.

9. Referencias

- The Mayor's Office of Managua (November 1, 2011). General Characteristics of District VI. Retrieved on August 19, 2013, from http://www.managua.gob.ni/modulos/documentos/otros/Caract_Gral_%20DVI_DVII_Mgua.pdf
- The Mayor's Office of Managua (2008). Development Management Program for Sub-Watershed II of the Watershed South of Lake Managua Terms of Reference. Managua.
- The Mayor's Office of Managua (2010). Environmental Programs Management of the South Watershed. Managua.
- The Mayor's Office of Managua (2006). Environmental Projects. Managua.
- The Mayor's Office of the Municipality of Managua (2004). Tiscapa Lagoon Protected Area Management Plan. Managua: The Ministry of the Environment and Natural Resources. Socio-environmental and Forestry Development Program. The Interamerican Development Bank.
- AP [agendapropia.com](http://www.agendapropia.com) (March 7, 2012). www.agendapropia.com. Retrieved on November 15, 2013, from <http://www.agendapropia.com/index.php/agenda-propia/informe-especial/894-el-dengue-mantiene-en-constante-alerta-a-las-autoridades-en-salud>
- Argüello, O. (2008). Review and Update for the Potable Water and Sanitation Sector Strategy, 2008-2015, Nicaragua / final report. Managua, July 2008.
- Avellán, D. G. (August 2012). Pan American Health Organization. Retrieved on Feb. 18, 2014, from http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=19345&Itemid=
- BCIE (2012). Country Strategy, Nicaragua (2013-2017). Toward Balanced Development and Poverty Reduction.
- BCN (2011). Central Bank of Nicaragua, Nicaragua in Figures 2011.
- BCN (2009). Annual Report 2009. Economic Study Management Department, BCN.
- Bethune, D., Farvolden, R. N., Ryan, C., y López, A. (1996). Industrial Contamination of a Municipal Water-Supply Lake by Induced Reversal of Ground-Water Flow, Managua, Nicaragua. *Ground Water*, 34 (4), 699-708.
- BM/WSP (2008). World Bank-WSP Water and Sanitation Program, 2008. The Status of Sanitation in Nicaragua. Results of an Evaluation of Rural Communities, Small Towns, and Peri-urban Zones. Bulletin, H. (1991). Limnology of Lake Xolotlán (Lake Managua), Nicaragua. *Journal of the Netherlands Hydrobiological Society*, 25(2), 101-180.
- CEPAL (2013). Economic Commission for Latin America and the Caribbean. Annual Statistical Report for the Americas. LC/G.2582-P: Santiago, Chile.
- CIA World Factbook (January 1, 2011). Index Mundi. Retrieved on Nov. 14, 2013, from Infant Population Mortality Rate: <http://www.indexmundi.com/g/g.aspx?c=nu&v=29&l=es>
- CIRA/UNAN (2008). The Biotic and Abiotic Condition of Lake Tiscapa. Center for Water Resource Research in Nicaragua, the National Autonomous University of Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua). Prepared by the Mayor's Office of Managua.
- CIRA/UNAN (2010). Evaluation of the Impact of Leachates from Garbage in the City of Managua, La Chureca, on the Waters in Lake Xolotlán, the Affected Aquifer, and the Acahualinca Lagoon. Managua: Center for Water Resource Research in Nicaragua, the National Autonomous University of Nicaragua, CIRA/UNAN.
- CIRA/UNAN, ENACAL (2013). Establishment of the Base Line on Current Water Quality and Sediments in the Masaya Lagoon - 2012-2013. Managua: Report by CIRA/UNAN for ENACAL.
- CIRA/UNAN-CARE-MARENA/PIMCHAS (2012). Study of the Quality and Availability of Water Resources in the Rio Viejo Sub-watershed. The MARENA-PIMCHAS Project. Managua.
- Collections NiKa CyberMunicipio (s.f.). The Neighborhoods of Managua. Retrieved on Aug. 19, 2013, from <http://www.manfut.org/managua/barrios/Distrito3.html>
- Collections NiKa CyberMunicipio (2013). The Neighborhoods of Managua. Retrieved on Dec. 3, 2013, from <http://www.manfut.org/managua/barrios/Distrito4.html>
- Collections NiKa CyberMunicipio (2013). The Neighborhoods of Managua. Retrieved on Nov. 14, 2013, from <http://www.manfut.org/managua/barrios>
- Cruz, O. (1997). Modelling the Managua Aquifer and Its Sustainable Yield. Master's Thesis. Managua.

- DARA (2010). Climate Vulnerability Monitor. Madrid.
- Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. (2009). Informational Compendium of Water-Related Diseases. (C. T. Alemana, Ed.) La Paz, Bolivia: German Technical Aid.
- El Nuevo Diario (Nov. 27, 2011). Retrieved on Sept. 27, 2013, from: <http://www.elnuevodiario.com.ni>
- El Nuevo Diario (May 28, 2012). Retrieved on Oct. 2, 2013, from: <http://www.elnuevodiario.com.ni>
- El Nuevo Diario (April 15, 2013). Retrieved on Aug. 15, 2013, from <http://www.elnuevodiario.com.ni/especiales/283158-managua-escasea-agua-falta-de-inversion>
- El Nuevo Diario (March 26, 2013). "INE to Inspect Gas Stations."
- El Nuevo Diario (Oct. 4, 200). "Multi-Million Dollar Water Loss."
- ENACAL (2010). Water and Sanitation 2007-2010. Managua.
- ENACAL (2009). Waste Water Treatment in Urban Populations Served by ENACAL. Managua: www.enacal.gob.ni.
- ENACAL (2008). The Nicaraguan Water and Sanitary Sewer Company. Management, December 2008.
- ENACAL (2008). Retrieved from Aug. 19, 2013, from <http://www.enacal.com.ni/media/imgs/informacion/LIBRO%20ENACAL%20CAMBIO%20ENERO-05.pdf>
- ENACAL (Febrero de 2008). Retrieved on Feb. 14, 2014, from http://www.enacal.com.ni/media/imgs/informacion/Sectores_de_Managua_con_servicio_de_Agua_potable_feb_2008.pdf
- ENACAL (2012). Retrieved on Aug. 16, 2013, from http://biblioteca.enacal.com.ni/bibliotec/Libros/pdf/Asososca_Asp_Ambientales.pdf
- ENACAL (2013). *ENACAL Informa, Informational Bulletin*. April. Managua: www.enacal.gob.com.
- ENACAL (2013). *ENACAL Informa, Informational Bulletin*. January.
- ENACAL (2008). The Status of Water Resources in Nicaragua. Managua.
- ENACAL (2008). Environmental Evaluation, Potable Water and Sanitary Sewer Project in Managua (PRASMA). Managua.
- ENACAL (2009). Management - National Water and Sanitary Sewer Company.
- ENACAL (2010). Achievements by the Government re Reconciliation and Unity in ENACAL 2007 to July 2010. Managua: www.enacal.gob.ni.
- ENACAL (2008). ENACAL Institutional Development Plan 2008-2012, Water Sector Strategy.
- ENACAL, INETER, CIRA/UNAN (2008). Water Quality Evaluation and Monitoring for Lake Managua. Managua.
- ENACAL-PNUD-OPS (2006). The ABCs of Water Resources and Their Situation in Nicaragua. Managua.

- Espinoza, H. (Sept. 12, 2013). The Ministry of the Environment and Natural Resources (MARENA). Personal Communication.
- FAO (2010). Retrieved on Nov. 5, 2013, from <http://coin.fao.org>
- FMI (2011). Nicaragua: Progress Report for the National Human Development Plan to 2010. International Monetary Fund, Washington, D.C.
- Government of Nicaragua (2008). Retrieved on August 19, 2013, from http://www.managua.gob.ni/modulos/documentos/firma_de_acuerdo.pdf
- GRUN (2012). National Human Development Plan 2012-2016.
- IANAS (2012). "Water Resources in Nicaragua, a Strategic Vision," in Water Diagnosis for the Americas. Mexico.
- INE (2012). Management Report of the Nicaraguan Energy Institute before the Honorable National Assembly of Nicaragua, for the Period from December 1, 2010, to November 30, 2011. Managua.
- INETER (s.f.). Retrieved on Sept. 23, 2013, from <http://webserver2.ineter.gob.ni>
- INETER (2003). Las Sierras Aquifer, Managua. Managua.
- INETER (2005). Report on Threats, Vulnerability, and Risks for Flooding, Land Slides, Volcanic Activity, and Earthquakes. Managua.
- INETER (2006). *INETER Hydrogeological Bulletin 2006*. Retrieved on Aug. 16, 2013, from <http://webserver2.ineter.gob.ni/Direcciones/Recursos%20Hidricos/hgeologia/Boletin/Bolpag1.htm>
- INETER-OIEA (2001). Isotopic Balance of Lake Xolotlán. Managua.
- INIDE (March 3, 2008). Retrieved on Feb. 14, 2014, from Managua in Figures: <http://www.inide.gob.ni/censos2005/CifrasMun/Managua/Managua.pdf>
- INIDE (2009). Population and Living Standard Estimates and Projections. Managua. Retrieved from <http://www.inide.gob.ni>.
- INIDE (National Development Information Institute) (Aug. 10, 2009). Life Style Measurement Survey. Retrieved on Nov. 14, 2013, from <http://www.inide.gob.ni/Emnvog/BaseEmnvog.html>
- INIDE (Nov. 1, 2009). Retrieved on Feb. 14, 2014, from the National Home Survey for Measuring Lifestyles (EMNV- 2009): <http://www.inide.gob.ni/Emnvog/BaseEmnvog.html>
- INIDE (Dec. 1, 2011). Retrieved on Nov. 14, 2013, from databases about the ongoing home survey (Quarter IV 2011): http://www.inide.gob.ni/endesa/Endesa11_12/BaseDatos/ENDESA2011%20Datos%20de%20la%20vivienda%20y%20el%20hogar.sav
- INIDE (2012). National, Department, and Municipal Population Estimates and Projections. Managua, Nicaragua- Retrieved from <http://www.inide.gob.ni>
- INIDE (June 30, 2012). Total Population Estimated as of June 30, 2012. Retrieved on March 5, 2014, from: <http://www.inide.gob.ni/>

- INIFOM (2013). Retrieved on July 30, 2013, from Managua Municipal Sheet: <http://www.inifom.gob.ni/municipios/documentos/MANAGUA/managua2.pdf>
- La Gaceta Official Journal* (June 6, 1996). Law 217: The General Environmental and Natural Resource Law. No. 105.
- La Gaceta Official Journal* (Aug. 29, 1996). Bylaws to Law 217, Decree 9-96: The General Environmental and Natural Resource Law. No. 163.
- La Gaceta Official Journal* (Sept. 11, 2002). Law on Hydrocarbon Supply. No. 173.
- La Gaceta Official Journal* (Dec. 29, 2003). NTON 14 002-03: Technical and Safety Standards for Automotive Service Stations and Marine Service Stations. No. 46.
- La Gaceta Official Journal* (March 15, 2004). NTON 05 004-01: Technical Environmental Standards for Automotive Service Stations. No. 52.
- La Gaceta Official Journal* (Sept. 4, 2007). General National Water Law. No. 169.
- La Prensa* (June 5, 2011). Retrieved on Aug. 19, 2013, from <http://www.laprensa.com.ni/2011/06/05/reportajes-especiales/>
- La Prensa* (2013). Retrieved on Sept. 17, 2013, from <http://www.laprensa.com.ni/2013/09/17/reportajes-especiales/>
- Lacayo, M., Cruz, A., Lacayo, J., y Fomsgaard, I. (1991). Mercury Contamination in Lake Xolotlán (Managua). *Hydrobiological Bulletin*, 25 (2), 101-180.
- López, M. E. (2005). Study on Contamination by Volatile Hydrocarbons (BTEX) at a Gasoline Spillage Site, Unidad de Propósito Neighborhood. Managua.
- López, W., Reyes, M., Gutiérrez, M., Alfonso, A., y Alfonso, Y. (2011). Impacts of Climate Vulnerability on Human Health - Nicaragua 2011. Managua.
- Losilla, M., Rodríguez, H., Schosinsky, G., y Bethune, D. (2001). Volcanic Aquifers and Sustainable Development in Central America. San José: University of Costa Rica.
- MARENA - PROTIERRA - CBA. Evaluation and Redefinition of the Protected Area System in the Pacific and Central Northern Regions of Nicaragua.
- Meulemans, J. (1991). General Description of the Execution of the "Limnology Project Applied to Lake Managua. *Hydrobiological Bulletin*, 25 (2), 101-180.
- The Nicaraguan Ministry of Health (2009). Management Report 2008. Managua.
- The Ministry of Health (2011). Management Report on Health 2011. Managua.
- The Ministry of Health (Jan. 19, 2012). Nicaragua Is on the Way to Eliminating Malaria. Managua, Nicaragua.
- The Ministry of Health (2013). Retrieved on Dec. 3, 2013, from <http://www.minsa.gob.ni/>
- Monografias.com (s.f.). Retrieved on Aug. 6, 2013, from <http://www.monografias.com/trabajos75/manejo-reserva-natural-laguna-asososca/manejo-reserva-natural-laguna-asososca2.shtml#ixzz2bxzTL5EM>.
- Montenegro, S. (1991). Limnological Perspective of Lake Xolotlán (Lake Managua), Nicaragua. *Hydrobiological Bulletin. Journal of the Netherlands Hydrobiological Society*, Vol. 25(2), 101-180.
- Montenegro, S. (2009). Nicaragua, a Country of Water and Thirst. Magistrate Conference, El Guacal 2-2009.

- WHO (World Health Organization) (2012). Retrieved on Feb. 13, 2014, from the 2012 World Report on Malaria, Summary: http://www.who.int/malaria/publications/world_malaria_report_2012/en/index.html
- WHO/UNICEF (2012). Progress on Potable Water and Sanitation, Update Report 2012.
- WHO/UNICEF (2013). Central Bank of Nicaragua, Nicaragua in Figures 2011.
- UN (the United Nations) (1976). Economic Evaluation for the Development of Underground Water Resources in the Managua-Granada Area. New York.
- UN (2010). Water and Cities, Facts and Figures. UN Program - Water for the Promotion of Communication within the Framework of the Decade.
- UN (2012). United Nations Conferences on Sustainable Development. Publication of the United Nations' Public Information Department.
- Ortuste, F. R. (2014). Policies and Institutional Capacity for Potable Water and Sanitation in Latin America and the Caribbean. *Natural Resources and Infrastructure*.
- Padilla, G. E. (2002). *Evaluation of the Quality of the Data in Hydrochemical Samples from Wells Drilled in the City of Managua (1993-2002)*.
- Peña, E., Montenegro, S., Pitty, J., Matsuyama, A. and Yasuda, Y. (2007). *Contamination by Mercury in Nicaragua: the Pennwalt Company Case*. Managua.
- Plata, A., Araguás, L., Avilés, J. y Peña, R. (2001). Relationship between Lake Managua (Nicaragua) and Surrounding Underground Water. *CEDEX Civil Engineering, Applied Technique Study Center* (121).
- Sawyer, H. A. (1973). *Wastewater Treatment to Protect the Water in Lake Managua*. New York.
- Sequeira M, E. H. (2010). *Malaria in Nicaragua: A Review of Control Status, Trends and Needs*. Seattle, Washington: PATH (Program for Appropriate Technology in Health).
- SILAIS Managua, the Ministry of Health (2013). General Mortality in the SILAIs, Managua. Managua. Pending Release.
- Sönke, K., y Eckstein, D. (2014). *Global Climate Risk Index 2014*. Bonn, Germany.
- SUWaR-Nicaragua. (2000). Sustainable Use of Water Resources. Managua Aquifer Protection Strategy. Managua: MARENA, ENACAL, PIDMA-UNI, ASDI, the Royal Institute of Technology (KTH) and the University of Linköping, Sweden.
- Vammen, K. y Hurtado, I. (2010). *Climate Change and Water Resources in Nicaragua*. Managua: CEPAL.
- WHO/UNICEF (2012). Progress on Drinking Water and Sanitation: 2012 Update, Joint Monitoring Program for Water Supply and Sanitation. Geneva, WHO and New York, UNICEF.
- WHO/UNICEF (2010). Progress on Sanitation and Drinking Water: 2010 Update, WHO/UNICEF Joint Monitoring Program for Water Supply and Sanitation. Geneva, WHO and New York, UNICEF.
- WSP/MB/ASD/UNICEF/BID (2007). Sanitation for Development.

Panamá



Balboa Avenue, una de las principales arterias de la ciudad de Panamá. Foto: ©iStock.com/ NTCO.



“Panamá es un país con abundantes recursos hídricos, más del 90% de la población tiene acceso al servicio de agua potable. Sin embargo, para las zonas urbanas se han enfocado casi exclusivamente en fuentes de agua superficial; y la existencia de regiones (especialmente en las zonas indígenas) en donde menos de la mitad de la población tiene acceso al agua potable. Gestionar los recursos necesarios para incrementar la infraestructura relacionada con el agua y el cambio climático son los principales retos que deben enfrentarse en un futuro cercano”

Aguas Urbanas. Panamá

José R. Fábrega D., Miroslava Morán M.,
Elsa L. Flores H., Icela I. Márquez de Rojas,
Argentina Ying, Casilda Saavedra,
Berta Olmedo, y Pilar López

Resumen

Panamá es un país con abundantes recursos hídricos y con una precipitación anual promedio de 3 mil mm. Sin embargo, 66% de la población vive en lugares poblados con más de mil 500 habitantes, considerados como áreas urbanas. De aquí la importancia que tiene la buena gestión y manejo de las aguas urbanas en Panamá. La mayoría de la población urbana utiliza aguas superficiales (ríos o lagos) como fuente de agua para suplir sus necesidades, siendo las fuentes de agua subterránea poco empleadas para el abastecimiento de comunidades urbanas.

En Panamá, la administración del agua potable se da a través de dos entes: por un lado, el Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN), que atiende a poblaciones superiores a los mil 500 habitantes, y por otro, el Ministerio de Salud (MINSAL), que a través de las Juntas Administradoras de Acueductos Rurales (JAAR), atiende a poblaciones inferiores a mil 500 habitantes, especialmente ubicadas en zonas rurales. Existen casos aislados en zonas periurbanas en donde la administración del recurso hídrico se hace a través de JAAR. En general, según el último censo (2010) más de 90% de la población tiene acceso a agua potable. Sin embargo, esta cifra no representa la realidad de algunas zonas marginadas, como es el caso de las comarcas indígenas, en donde la cifra puede ser tan baja como 28%.

En cuanto al tratamiento de aguas servidas, y según indicadores del Banco Mundial, para 2012 un 80% de la población contaba con acceso a facilidades mejoradas de saneamiento. En las áreas urbanas, bajo la administración del IDAAN, se tiene que 57% de la población cuenta con alcantarillado sanitario, lo que se traduce en términos totales de población a 45%. En cuanto al tratamiento de aguas residuales, y gracias a una serie de normas aprobadas a finales del siglo pasado y principios de éste, se ha logrado que ya existan cerca de 100 plantas de trata-

miento de aguas residuales (PTAR) con tratamiento secundario. Igualmente, se está ejecutando en el país el “Proyecto de Saneamiento de la Ciudad y la Bahía de Panamá” iniciado en 2006, el cual busca recuperar las condiciones sanitarias y ambientales del área metropolitana y la eliminación de contaminación por aguas residuales no tratadas en los ríos urbanos y en las zonas costeras de la Bahía de Panamá. Gracias a este proyecto ya se tiene en funcionamiento la única PTAR del país que realiza tratamiento terciario a las aguas que recibe, con una capacidad de hasta 2.2 m³/segundo. Se espera que para el año 2035 esta planta atienda la demanda de aproximadamente 1,2 millones de personas y alcance un volumen de agua tratada de aproximadamente 6.4m³/segundo.

En lo que se refiere a las enfermedades transmitidas por vectores que se desarrollan en agua, es importante resaltar que el dengue en el área urbana es uno de los principales problemas de salud pública en Panamá. En estudios aislados de agua cruda utilizada por plantas potabilizadoras en algunos centros urbanos, se han encontrado quistes de *Giardia* spp. y ooquistes de *Cryptosporidium* spp. en la estación seca. En la estación lluviosa, los resultados fueron negativos, a excepción de un estudio en que se encontró *Cryptosporidium* spp. en aguas tratadas. Por otro lado, en la planta potabilizadora de Chilibre, que abastece de agua a la mayor parte de la población urbana de la ciudad capital, no se detectó la presencia de ninguno de estos parásitos. Sin embargo, estudios realizados en la ciudad de La Chorrera parecen indicar una prevalencia relativamente alta de *Cryptosporidium* spp. y *Giardia* spp. en niños.

Por último, la relación de las aguas urbanas con cambio climático adquiere cada día una mayor relevancia, debido principalmente al acelerado crecimiento que está experimentando la ciudad de Panamá. Diversos estudios y análisis apuntan a un incremento en la frecuencia de eventos extremos y de la vulnerabilidad de zonas urbanas, lo cual se refleja no sólo por el aumento en el número de inundaciones, sino también por el número de personas afectadas por estos eventos. Para afrontar el cambio climático en Panamá, tanto en adaptación como en mitigación, avances institucionales y legales incluyen la aprobación de la Política Nacional de Cambio Climático, dentro de la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM) y la creación del Comité Nacional de Cambio Climático, el cual cuenta con la representa-

ción de 27 instituciones del sector público incluyendo el sector académico. Existen diferentes alternativas encaminadas a aumentar la resiliencia urbana ante el cambio climático. Una de las más importantes que se está promoviendo a nivel mundial son los edificios verdes. En este sentido, Panamá ocupa el segundo lugar en Centroamérica y el Caribe en cuanto a edificios con certificación LEED. Además de las soluciones estructurales, la resiliencia urbana al cambio climático depende de la sensibilización de la población y la toma de conciencia del papel que cada uno desempeña en el problema y también en la solución.

1. Fuentes de agua en zonas urbanas y los impactos causados por la urbanización

Panamá es un país con abundantes recursos hídricos, con una precipitación promedio anual cercana a los 3 mil mm, una mínima de 1 mil mm y máximas hasta de 7 mil mm en algunos puntos del país. En su superficie, las lluvias forman una red de ríos de corto recorrido que nacen en la divisoria continental y descargan en alguna de las dos costas (150 ríos en el Atlántico y 350 ríos en el Pacífico). Panamá también cuenta con 67 sistemas lacustres, entre embalses, lagunas y humedales. El agua en el subsuelo panameño no se ha podido estudiar con certeza; se sabe que existen tres tipos principales de acuíferos: acuíferos predominantemente intergranulares, acuíferos predominantemente fisurados y áreas con acuíferos locales intergranulares o fisurados, de productividad limitada.

En relación con la población, el último censo indica que 66% de la población en el país (2 millones 249 mil 394 personas) vive en 224 lugares urbanos (poblados concentrados con más de mil 500 habitantes), mientras que 34% (1 millón 155 mil 884 personas) vive en 11 mil 391 lugares poblados con menos de mil 500 habitantes, definidos como rurales (Cuadro 1).

1.1 Regiones del país con predominio de uso de aguas superficiales/ subterráneas/combinadas

Como se observa en el Cuadro 2, y tomando únicamente las plantas de tratamiento administradas por el IDAAN, en las zonas urbanas de la República de

Panamá se usa primordialmente (99.9%) el agua superficial para consumo humano. El uso de las aguas subterráneas puede darse con un poco de mayor frecuencia en zonas rurales.

1.2 .Fuentes de agua y relativas a la distribución de la población urbana

La actividad social (75% de la población) y económica de Panamá se concentra en 5.3% del territorio, en unas pocas ciudades de la vertiente pacífica. En contraste y de acuerdo con el Atlas Ambiental de Panamá (Autoridad Nacional del Ambiente –ANAM–, 2010), un cuarto de la población que ocupa poco menos de 95% del territorio vive en condiciones de dispersión, pobreza y sin acceso a la mayoría de los servicios básicos.

Los tres municipios más grandes y con mayor actividad económica del país (Panamá, San Miguelito y Colón), que concentran más de 62% de la población urbana (censo de 2010), se abastecen principalmente de agua proveniente de la Cuenca del Canal de Panamá, administrada por la Autoridad del Canal de Panamá, con altos estándares de control y manejo. La cuenca tiene una superficie de 2 mil 982 Km² y representa un enorme potencial hídrico (Autoridad del Canal de Panamá –ACP–, 2006).

1.3 Sobreexplotación de fuentes superficiales y subterráneas

El Plan Nacional de Recursos Hídricos de Panamá (PNGIRH) (ANAM, 2011) reporta los resultados de

balances hídricos realizados en diez cuencas hidrográficas prioritarias situadas sobre la vertiente del Pacífico en 2008. Estas cuencas se priorizaron con base en la concentración poblacional, demanda de agua, escenarios de conflicto, vulnerabilidad ante el cambio climático, etcétera. Se reportó que solamente la cuenca del Río Antón presentaría déficit de agua, mientras que las demás cuencas presentan una situación que va desde el equilibrio a la abundancia. El análisis por estación reveló que las cuencas Tonosí y La Villa presentan problemas de disponibilidad del recurso hídrico en la estación seca.

El mismo informe menciona que, si bien las concesiones de agua subterránea parecen insignificantes, los usos y extracciones observados en las cuencas, sobre todo en la zona llamada Arco Seco (que comprende las Provincias de Herrera, Los Santos, Coclé y parte de Veraguas), tienden a ser intensivos.

1.4 Impactos de la urbanización sobre la cantidad y calidad de agua en las diferentes fuentes. Fuentes de contaminación puntuales y difusas fuera y dentro de la ciudad

La Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM), institución rectora del ambiente en Panamá, estima que más de 80% de las descargas de aguas residuales proviene del sector doméstico y comercial y 20% restante corresponde al sector industrial (ACP, 2006). Aquí cabe destacar que para el sector industrial, aunque el volumen de descarga es menor, la carga contaminante es altamente superior al aporte doméstico, lo cual es crítico, pues ANAM reporta que pocas empre-

Cuadro 1. Distribución de la población en Panamá

Tipo de Población	Población	%	Lugares poblados	%
Población urbana	2,249,394	66	224	2
Población rural	1,155,884	34	11,391	98
Total	3,405,813	100	11,615	100

Fuente: Elaboración propia basada en el Censo 2010 de la Contraloría General de la República de Panamá.

Cuadro 2. Fuente de agua de las potabilizadoras administradas por IDAAN

Tipo de abastecimiento de planta	Número	Capacidad nominal (Mm ³ /día)	Producción real (Mm ³ /día)	Población beneficiada ^(a)
Reservorio	5	1.022	0.885	1,294,566
Río o quebrada	47	0.541	0.408	943,713
Pozo y río	1	0.003	0.001	2,652
Total de plantas funcionando	53	1.57	1.29	2,240,931

(a) Al año 2014. Fuente: <http://www.idaan.gov.pa/detalle.php?cid=2&sid=31&id=38>

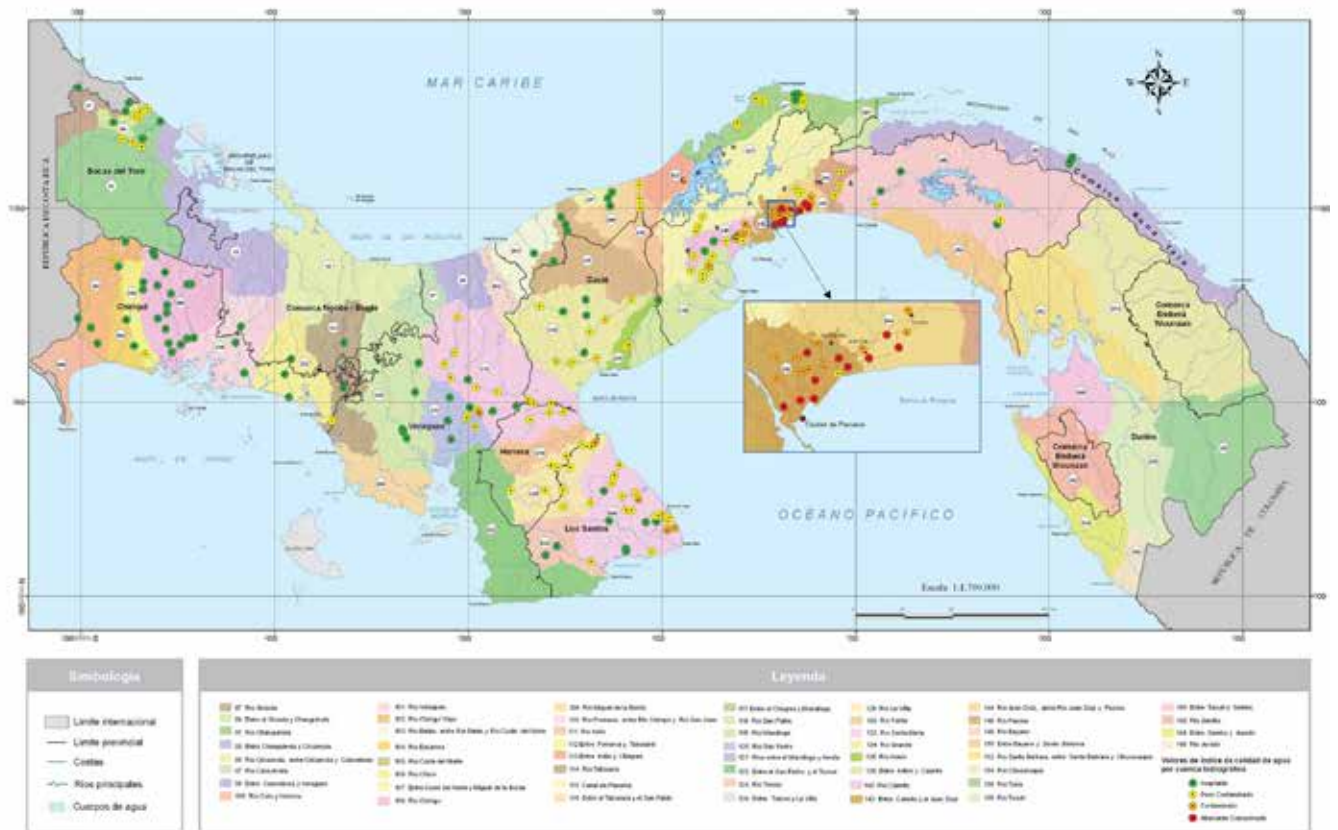
sas presentan solicitud de permiso de descarga de aguas, ya sea a cuerpos de aguas superficiales o al alcantarillado (ANAM 2011).

La ANAM (2011) ha encontrado una relación entre la degradación de la calidad del agua de los ríos del país con la concentración de población: de un total de 17 ríos monitoreados en la provincia de Panamá, diez presentan condiciones de “contaminados a altamente contaminados”. Entre éstos están el Matznillo, Curundú y Río Abajo que se encuentran en la ciudad capital (Figura 1). El PNGIRH explica la contaminación hídrica por varios factores: i) La descarga de aguas residuales sin ningún o con insuficiente tratamiento (origen doméstico e industrial) las descargas de desechos sólidos, ii) El uso de productos químicos: agroquímicos y detergentes, iii) Los derrames de hidrocarburos y otros materiales contaminantes, y iv) La deforestación y lluvias extremas que aportan sedimentos.

Se han presentado por lo menos dos casos importantes de contaminación de fuentes de agua en el país. Uno, ocasionado por las lluvias intensas de diciembre de 2010¹ que condujeron a una altísima concentración de sedimentos en el agua, causando el colapso de las potabilizadoras que abastecen a la ciudad de Panamá y una crisis de agua. Un segundo caso se está gestionando en estos momentos por la descarga del herbicida Atrazina arriba de las tomas de potabilizadoras de agua y también fuente para numerosos acueductos rurales y otros usos, afectando a decenas de miles de personas en las provincias de Los Santos y Herrera.

1. El anuario hidrológico de la Autoridad del Canal de Panamá reportó que de acuerdo con los registros en las estaciones hidrométricas, en todos los ríos principales de la cuenca, el caudal de diciembre de 2010 superó de 200 a 400% el promedio histórico de ese mes. Estudio disponible en: <https://micanaldepn.com/wp-content/uploads/2012/06/Anuario/2010.pdf>

Figura 1. Índice de Calidad de Agua por cuenca hidrográfica.



Fuente: Atlas ambiental de la República de Panamá (ANAM, 2010)

1.5 Cómo se han enfrentado los problemas de calidad de agua en zonas urbanas

Se tenía conocimiento (ANAM, 2011) que los ríos Curundú, Matasnillo, Río Abajo, Matías Hernández, Juan Díaz, Tapia, Tocumen y Cabra (dentro de la ciudad de Panamá o en sus alrededores) recibían las aguas residuales domésticas y los vertidos líquidos de 674 empresas (entre ellas, mataderos, avícolas, lácteos, procesadoras de embutido, metalúrgicas, fábricas de pinturas, fábricas de baterías para autos, de materiales de construcción, extracción de minerales no metálicos, empresas de procesamiento de derivados del petróleo, aserraderos, tenerías, talleres de mecánica y chapistería); estos ríos terminaban desembocando en la Bahía de Panamá, frente a la ciudad, provocando malos olores y la prohibición para su uso recreativo.

Para recuperar las condiciones sanitarias y ambientales del área metropolitana y la eliminación de contaminación por aguas residuales no tratadas en los ríos urbanos y en las zonas costeras de la Bahía de Panamá, el Ministerio de Salud implementa el Proyecto Saneamiento de la Ciudad y la Bahía de Panamá. Adicional a esto, en los últimos años, los proyectos residenciales deben incluir sistemas privados de tratamiento de sus aguas residuales, aunque muchas veces no logran cumplir con la normativa (ANAM, 2011).

En relación con la labor de la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM), ésta realiza desde el año 2002 el monitoreo de 95 ríos a nivel nacional, a través de 519 puntos y utiliza un índice de calidad de agua (ICA) para clasificar la calidad del recurso hídrico (Figura 1). Igualmente, la ANAM viene desarrollando una serie de programas y proyectos de manejo de cuencas hidrográficas con la intención de detener y revertir el deterioro ambiental al cual están sometidas. No obstante, esta institución también tiene mayor responsabilidad por hacer cumplir las normas de descarga de agua, pero ha expresado tener limitantes para el éxito de esta tarea (ANAM, 2011).

1.6 Problemas específicos relacionados con las fuentes de agua para zonas periurbanas y asentamientos informales

La Figura 2 muestra el crecimiento que tuvo la ciudad de Panamá en 30 años; ciertamente las zonas pe-

riurbanas han crecido considerablemente. Las poblaciones de Chilibre y Arraiján son sitios periurbanos estudiados con respecto a su relación con los recursos hídricos ubicados dentro de la Cuenca del Canal de Panamá. El estudio de “Caracterización sociodemográfica y económica de la cuenca” (TETRATECH, 2010) relaciona los asentamientos periurbanos con las transformaciones ambientales y sus efectos en la cantidad y calidad del agua, al disminuir la cobertura vegetal, disminuir la infiltración de agua en el suelo, provocar contaminación con residuos sólidos, líquidos y gaseosos, en ocasiones tóxicos, modificar cauces de agua y el paisaje en general. También señala la desmejora de las condiciones sanitarias y de los servicios públicos.

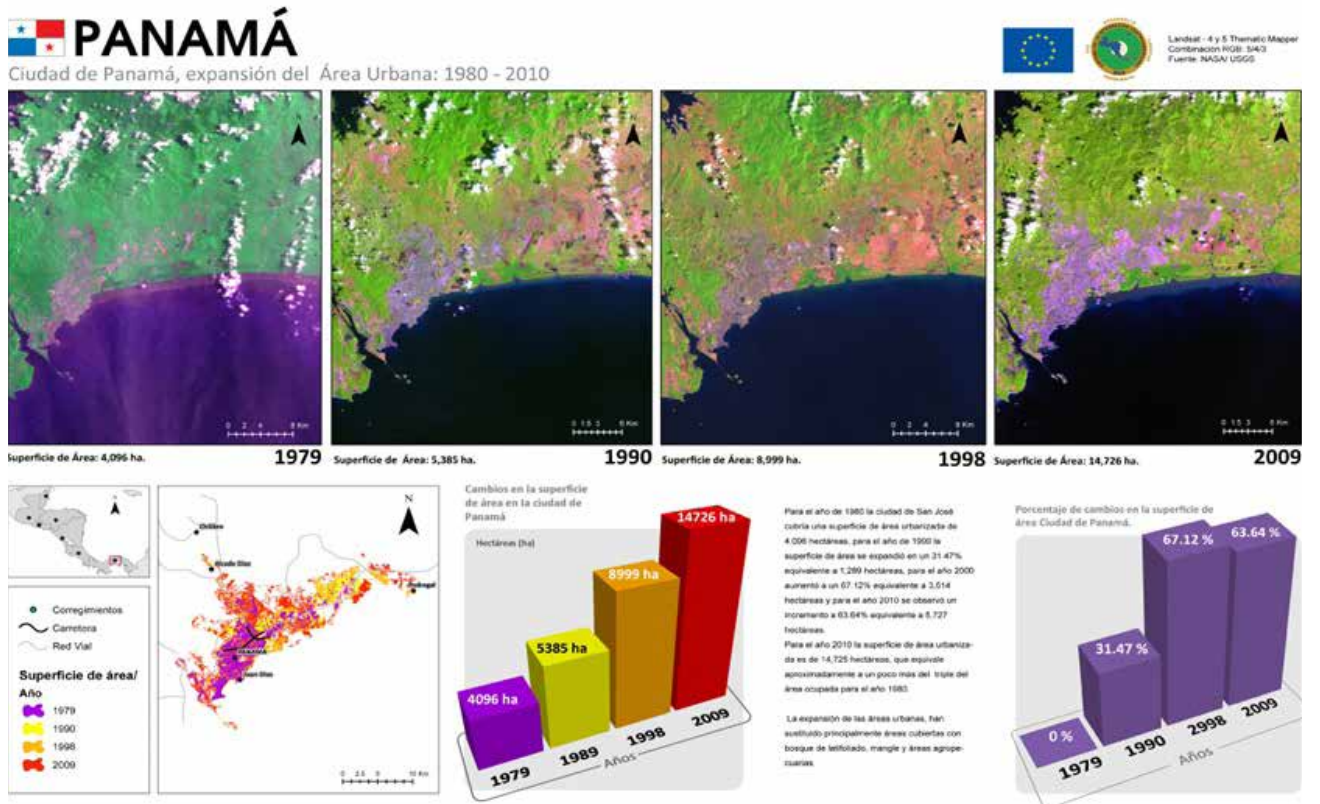
2. Servicio de agua potable en zonas urbanas

2.1 Administración del agua potable en Panamá

En Panamá, la administración del agua potable se da a través de dos entes: por un lado, el Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN), que atiende a poblaciones superiores a los mil 500 habitantes y, por el otro, el Ministerio de Salud (MINSA), que a través de las Juntas Administradoras de Acueductos Rurales (JAAR), atiende a poblaciones inferiores a mil 500 habitantes, especialmente ubicadas en zonas rurales. Sin embargo, y a pesar de esta distinción, existen zonas urbanas en las que la administración se da a través de una JAAR, como lo es el caso de la comunidad de Génesis, en Las Mañanitas de Tocumen, localizada al este de la ciudad de Panamá.

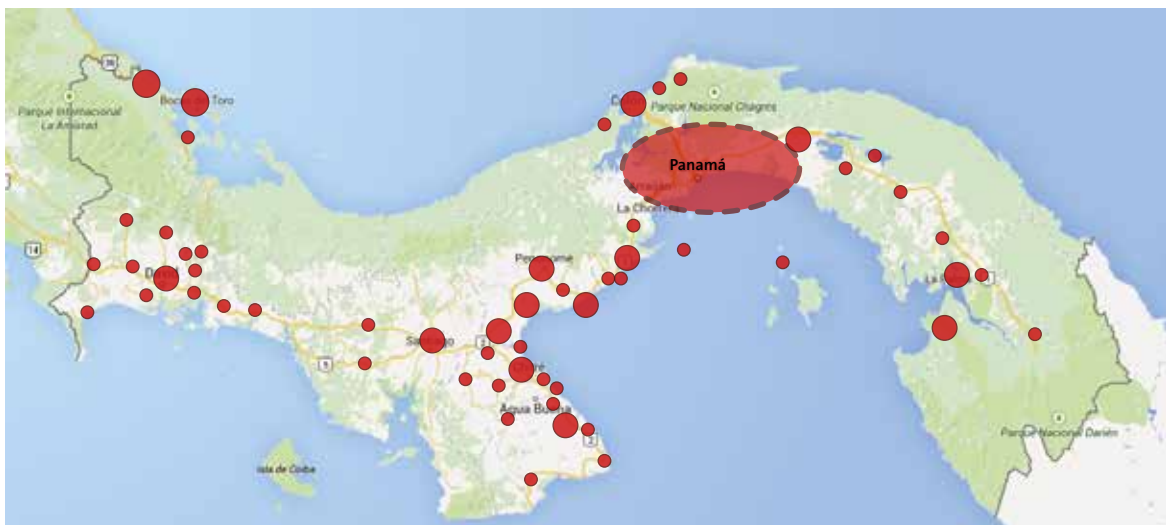
Si se toma en cuenta esta separación de competencias por población, se tiene que el IDAAN administra actualmente 124 sistemas de acueducto a nivel nacional (Cano, 2013), y sirve a una población de 2 millones 644 mil 464 habitantes, con una cobertura de 93% (Figura 3). En términos de población, esta cobertura representa un aumento de alrededor de 70% comparado con el año 1987, cuando el IDAAN administraba 135 sistemas de acueducto en todo el país para abastecer una demanda de 1.5 millones de habitantes, mediante 25 plantas potabilizadoras, 2 filtros lentos, 317 pozos, 6 galerías de infiltración y 5 norias (Fábrega, 1992).

Figura 2. Cambio de área urbana de la ciudad de Panamá



Fuente: CATHALAC (2011) en el marco del proyecto PREVDA

Figura 3. Ubicación de los 124 sistemas de acueducto a nivel nacional administrados por el IDAAN.



Fuente: Cano, Ivan. Presentación oral: “Descripción de los Sistemas de Acueducto Panamá Metro y Panamá Oeste, Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN). Dirección de Operaciones. 2011

El IDAAN establece tarifas de cobro por consumo medido, las cuales difieren de una localidad urbana a otra. En otros casos, el IDAAN tiene bajo contrato el suministro de agua a través de carros cisternas, especialmente a poblaciones ubicadas en la periferia de la ciudad capital de la República de Panamá como lo son Las Garzas de Pacora, Altos de la Torre, La Paz, Jalisco, Alto Lindo y Guarumalito. En este sentido, y a pesar de que las cisternas distribuyen cerca de 190 mil galones por día, casi a diario se dan protestas por la falta de suministro.

A lo anterior se suma que, según el Boletín Estadístico No. 24 del IDAAN (2008-2010), la facturación de los volúmenes de agua que se entrega a los usuarios se realiza sobre la base de: lectura de medidores (34,1%), medidor promediado (20,6%) y sin medidor (44%). Igualmente, el agua no contabilizada es 41,4%, lo cual es un indicador de graves pérdidas físicas y comerciales que acentúan la crisis financiera de la institución.

Por otro lado, el MINSA ha registrado 2 mil 673 JAAR a lo largo de todo el país, con personería jurídica. En las JAAR, la regularidad es el cobro de una tarifa fija, que varía independientemente del consumo per cápita que se dé. En muy pocos casos han sido instalados micro medidores para efectos de contar con una tarifa por consumo medido (MINSA, 2014).

2.2 Cobertura de agua potable en zonas urbanas

En la Constitución de la República de Panamá no se reconoce el derecho humano al agua, pero sí existen una política y un plan para el abastecimiento de agua potable en zonas urbanas, la que se está ejecutando parcialmente (MINSA, 2013). Con este plan se espera alcanzar una cobertura de 97% en las zonas urbanas para el año 2014.

Actualmente, y según los datos recopilados en el Censo de Población y Vivienda de 2010 (Cuadro 3), 91,7% de la población disponía de acceso al agua potable a través de conexión domiciliaria como acueductos públicos del IDAAN, acueductos de la comunidad o particular; en tanto, 6,7% tenía acceso sin conexión domiciliaria y 1,6% estaba sujeto a otros suministros, como la lluvia o el carro cisterna. Igualmente, las coberturas de servicios de acceso al agua potable varían de acuerdo al tipo de fuente (Cuadro 4). Estos valores presuponen que cerca de 3,1

millones de personas en el país cuentan con agua de manera fiable y saludable. Sin embargo, las cifras demuestran que por área geográfica, son las comarcas indígenas de Emberá y Ngobe Bugle, las que menos cuentan con condiciones óptimas para el uso y consumo de agua (cuadros 4 y 5). La dispersión de los pueblos, el difícil acceso a los caminos y un tema de influencia cultural, son los factores que se conjugan para estos resultados.

En la región de Panamá Metro, la principal problemática es la presión demográfica, la cual provoca una constante demanda de servicios del IDAAN, cuyo sistema y equipo sufren constantes desperfectos, afectando los niveles de almacenamiento, presión o distribución de agua a los sectores altos ubicados lejos de la red del acueducto metropolitano (Fábrega, 1992). El asentamiento improvisado y desmedido de algunas comunidades dentro de los corregimientos que se ubican en las periferias de las zonas urbanas, ha desencadenado una serie de problemas socioeconómicos, entre ellos la falta de agua potable. A esto se añade la falta de indicadores que permitan medir la cobertura equitativa de los servicios de acuerdo con la ubicuidad de las poblaciones y los diferentes grupos económicos (MINSA, 2013).

En promedio, las viviendas con conexión domiciliaria gozan de un suministro de agua 6,4 días a la semana y 19,5 horas al día en la estación seca (6,6 y 20,5 en la estación lluviosa, respectivamente) (Mi-

Cuadro 3. Distribución porcentual de las fuentes de abastecimiento de agua para beber en la población:

Censo de 2010.

Fuentes	Porcentaje
Acueducto público del IDAAN	70,8
Acueducto público de la comunidad	19,8
Pozo superficial	2,1
Río, quebrada o lago	2,0
Pozo sanitario	1,6
Acueducto particular	1,1
Pozo brocal no protegido	1,0
Carro cisterna	0,7
Agua lluvia	0,5
Agua embotellada	0,3
Otra	0,1
TOTAL	100,0

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censo. Contraloría General de la República

Cuadro 4. Viviendas por fuente de abastecimiento de agua, por provincias y comarcas indígenas:
Censos de 2000 y 2010

Provincias y comarcas indígenas	Total	Acueducto público del IDAAN	Acueducto público de la comunidad	Acueducto particular	Pozo sanitario	Pozo brocal no protegido	Agua lluvia	Pozo superficial	Río, quebrada o lago	Carro cisterna	Agua embotellada	Otra
2000												
TOTAL	681,928	459,803	143,390	9,132	9,067	9,698	1,929	23,001	19,307	2,748	3,853	-
Bocas del Toro	16,999	2,394	9,756	454	781	112	732	968	1,562	-	240	-
Coclé	44,496	18,189	21,171	1,333	496	269	6	1,810	978	-	244	-
Colón	49,716	36,966	8,188	608	612	97	111	1,112	1,697	-	325	-
Chiriquí	87,509	48,161	21,619	2,238	3,017	7,730	80	2,739	1,038	-	887	-
Darién	9,088	1,577	3,660	70	276	178	421	529	2,311	-	66	-
Herrera	27,202	16,034	9,052	382	178	71	3	972	322	-	188	-
Los Santos	25,052	14,778	8,693	602	242	116	1	241	193	-	186	-
Panamá	350,472	304,555	30,212	2,750	2,266	713	286	3,272	2,165	2,748	1,505	-
Veraguas	49,103	17,149	23,195	545	867	267	8	4,887	2,003	-	182	-
Kuna Yala	4,281	-	2,894	4	65	5	5	73	1,229	-	6	-
Emberá	1,498	-	157	3	83	1	135	4	1,113	-	2	-
Ngobe Buglé	16,512	-	4,793	143	184	139	141	6,394	4,696	-	22	-
2010												
TOTAL	896,068	634,780	177,840	9,850	14,005	8,816	4,711	18,497	17,650	6,588	2,207	1,124
Bocas del Toro	24,628	11,500	5,769	463	891	577	2,708	474	1,606	41	563	46
Coclé	57,193	24,608	27,946	1,514	567	430	13	1,123	693	113	46	140
Colón	63,502	48,747	9,745	403	694	894	155	647	1,733	160	154	170
Chiriquí	113,012	63,704	32,935	2,040	7,559	3,623	153	1,449	915	166	334	134
Darién	11,906	2,312	5,688	237	234	172	635	262	1,983	219	132	32
Herrera	32,591	20,414	10,505	456	113	111	17	516	357	44	43	15
Los Santos	29,363	18,021	9,884	934	166	68	0	99	75	9	27	80
Panamá	470,466	420,837	33,602	2,373	2,492	791	219	1,260	1,814	5,822	856	400
Veraguas	60,209	24,637	27,668	1,055	484	687	38	3,503	2,055	4	10	68
Kuna Yala	4,999	-	3,840	28	2	86	4	70	948	-	12	9
Emberá	1,940	-	519	1	27	1	328	-	1,048	1	12	3
Ngobe Buglé	26,259	-	9,749	346	776	1,376	441	9,094	4,423	9	18	27

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas y Censo.

nisterio de Economía y Finanzas, 2012). En cuanto a tratamiento de agua potable, la principal planta potabilizadora de Panamá se encuentra localizada en

Chilibre dentro de la Cuenca del Canal de Panamá y tiene su toma en el lago Alhajuela que es uno de los lagos que sirven para el funcionamiento del Canal

Cuadro 5. Población con y sin acceso a agua potable, según provincias y comarcas indígenas: Censos de 1990, 2000 y 2010 (en porcentaje)

Provincias y comarcas indígenas	Población con y sin acceso a agua potable por Censo					
	1990*		2000		2010	
	Yes	No	Yes	No	Yes	No
TOTAL	81.2	18.8	90.2	9.8	92.9	7.1
Bocas del Toro	60.2	39.8	74.1	25.9	74.6	25.4
Coclé	75.9	24.1	91.5	8.5	95.1	4.9
Colón	83.3	16.7	92.0	8.0	93.5	6.5
Chiriquí	65.3	34.7	82.3	17.7	87.9	12.1
Darién	31.9	68.1	58.4	41.6	72.4	27.6
Herrera	78.4	21.6	93.6	6.4	96.6	3.4
Los Santos	85.7	14.3	96.1	3.9	98.6	1.4
Panamá	93.7	6.3	97.1	2.9	98.6	1.4
Veraguas	57.4	42.6	83.3	16.7	88.8	11.2
Kuna Yala			67.7	32.3	77.8	22.2
Emberá			10.7	89.3	27.6	72.4
Ngobe Buglé			29.9	70.1	38.6	61.4

*No se habían creado las comarcas indígenas y las áreas indígenas se incluían en las provincias que estaban alrededor de estas comarcas.

Figura 4. Planta de tratamiento de aguas residuales del proyecto de saneamiento de la Bahía de Panamá



Fuente: Cano, Ivan. Presentación oral: "Descripción de los Sistemas de Acueducto Panamá Metro y Panamá Oeste, Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN). Dirección de Operaciones. 2011

de Panamá. Esta planta tiene una capacidad instalada de 0.95 Mm³/día (Figura 4). Con la misma se abastece buena parte de la ciudad de Panamá.

3. Tratamiento de agua en ciudades

El manejo y disposición final de las aguas residuales, sean éstas domésticas o industriales, y la regulación de la prestación del servicio de alcantarillado sanitario constituyen para el mundo en general y Panamá en particular, un reto importante por alcanzar en el siglo XXI. Según los indicadores del Banco Mundial (<http://data.worldbank.org/indicator/SH.STA.ACSN.UR>) para el año 2012, la población urbana en Panamá contaba con 80% de acceso a facilidades mejoradas de saneamiento.²

3.1. Marco legal de aguas residuales domésticas e industriales

Para el año 2000, en Panamá se logran plasmar diversas normativas y reglamentos técnicos sobre diversos aspectos de las aguas residuales tales como: i) reutilización de las aguas residuales tratadas (DGNTI-COPANIT, 24-99),³ ii) descargas de efluentes líquidos directamente a cuerpos y masas de agua superficial y subterráneas (DGNTI-COPANIT, 35-2000), iii) descargas de efluentes líquidos directamente a sistemas de recolección de aguas residuales (DGNTI-COPANIT, 39-2000), y iv) uso y disposición final de lodos (DGNTI-COPANIT, 47-2000), con el propósito de que las mismas se implementaran y se lograra la meta de recuperar los cuerpos de aguas naturales altamente contaminados no sólo física, química y microbiológicamente, a través de la disposición de las aguas residuales en corrientes superficiales y subterráneas sin un tratamiento adecuado.

2. Éstas incluyen además de los servicios sanitarios (hacia sistemas de alcantarillado, tanque séptico o letrina de pozo) soluciones como letrina de pozo mejorada ventilada al ras, letrina de pozo con losa e inodoro de compostaje.

3. DGNTI: Dirección General de Normas y Tecnología Industrial del Ministerio de Comercio e Industrias de Panamá (MICI). COPANIT: Comisión Panameña de Normas Industriales y Técnicas del MICI.

3.2 Saneamiento y Sistemas de alcantarillado

Panamá vive actualmente uno de los períodos de mayor crecimiento económico de su historia. Por ejemplo, de acuerdo con datos del CIA Worldfactbook (<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/pm.html>), promediando el crecimiento del PIB de Panamá de 2011 a 2013, el mismo ha crecido en promedio 9.7% anual. Sin embargo, este crecimiento no se ve del todo reflejado en sus cifras de saneamiento. Por ejemplo, el Boletín Estadístico N° 26 del IDAAN (2010-2012) muestra que el porcentaje de la población servida por alcantarillado, que es responsabilidad del IDAAN (poblaciones con más de mil 500 personas) es de 57%. Este porcentaje en términos de población total de Panamá se traduce en aproximadamente 45%. En este mismo documento se indica que esta cobertura se realiza a través de 21 sistemas de alcantarillados sanitarios que representan 312 mil 696 conexiones residenciales, más las unidades habitacionales en comunidades de más de mil 500 habitantes.

De acuerdo con el Foro Centroamericano y República Dominicana de Agua Potable y Saneamiento (FOCARD-APS) de 2013, las tecnologías más utilizadas para el manejo de excretas son los sistemas de alcantarillados (recolección con y sin tratamientos que incluyen lagunas de oxidación, tanques sépticos, fosas Imhoff y plantas de tratamiento). Igualmente, este documento destaca que el tipo de tecnología se asocia al tamaño del lote, tal como regula el Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial (MIVIOT). Sin embargo, esta regla no es del todo acatada en áreas en donde existen asentamientos informales, sobre todo en áreas periféricas de las ciudades, en donde el sistema utilizado es letrínación (FOCARD-APS, 2013).

Los primeros sistemas de alcantarillados en Panamá datan de principio del siglo XX y eran sistemas combinados. No es sino hasta mediados del siglo pasado que aparecen las redes de alcantarillados en las ciudades de Panamá y Colón. Sin embargo, estos sistemas terminaban en descargas directas a los cuerpos de agua. Actualmente, y gracias al Proyecto de Saneamiento de la Ciudad y Bahía de Panamá, el cual se desarrollará en otra sección, se han construido en los últimos años cerca de 138.7 kilómetros de redes de alcantarillado que representan 13 mil 978 conexiones domiciliarias a un costo de U\$29.6 millones de dólares (FOCARD-APS, 2013).

Para el caso de las descargas de aguas residuales en la ribera del Canal de Panamá y en el mar adyacente (aguas debajo de las Esclusas de Miraflores en el Pacífico y de las Esclusas de Gatún en el Atlántico), Rojas-Márquez (2006) cuantificó más de 80 puntos de descarga, los cuales se caracterizan por contaminar directamente el área donde son vertidas y la producción de los malos olores, lo que conlleva a un deterioro ambiental de las mismas. Considerando este escenario, se requiere de acciones urgentes para mejorar la calidad de las aguas residuales que son descargadas en esta importante área del país y verificar que los sistemas de recolección y conducción a las plantas estén trabajando óptimamente. Esto evitaría que se continúe contaminando y destruyendo el ambiente acuático, continental y marino circundante al canal de Panamá (Rojas-Márquez, 2006). Frente a esta situación, la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) busca implementar soluciones para tratar las aguas residuales que vierten al Canal, que resuelva el problema de poblaciones importantes del área tales como: Albrook, Clayton, Cárdenas, Balboa, Amador, entre otras poblaciones.

3.3 Sistemas de tratamiento de aguas residuales

Las tecnologías tradicionalmente utilizadas para el tratamiento de aguas residuales en Panamá y que registra el IDAAN son tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de oxidación con vertido final a ríos y océanos. Ahora bien, en los últimos años y en buena medida como consecuencia de la aprobación de las normas mencionadas en el acápite 3.1, se han introducido cerca de 100 plantas de tratamiento (PTAR) de tipo secundario concentradas en distritos de gran concentración urbana de las provincias de Panamá y Panamá Oeste (La Chorrera, Arraiján y Panamá), representando cerca de 100 mil beneficiarios. Sin embargo, según información del IDAAN, sólo 40 de estas 100 plantas de tratamiento están cumpliendo con los requisitos para ser traspasadas por sus constructores al IDAAN (FOCARD-APS, 2013).

3.4 Proyecto Saneamiento de la Ciudad y la Bahía de Panamá

El Proyecto de Saneamiento de la Ciudad y la Bahía de Panamá representa la principal inversión en materia de salud ambiental que se está ejecutando en

el país. Esta obra se inició en 2006, a un costo de U\$ 655 millones de dólares. Este proyecto busca recuperar las condiciones sanitarias y ambientales del área metropolitana y la eliminación de contaminación por aguas residuales no tratadas en los ríos urbanos y en las zonas costeras de la Bahía de Panamá. Este proyecto, implementado por el Ministerio de Salud, se realizará en tres fases y está integrado por cuatro componentes: i) Construcción de Redes Sanitarias, ii) Construcción de Líneas Colectoras, iii) Construcción del Sistema Interceptor, y iv) Construcción y Operación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Hoy día, la primera fase del proyecto está bastante avanzada. En 2013 entró en operación la primera fase de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, que actualmente recibe 1.8 m³/s (ver Figura 5) que antes descargaban en los ríos Matías Hernández y Matasnillo (<http://www.saneamientodepanama.com/planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales>). Esta planta se convierte en la única PTAR del país que realiza tratamiento terciario a las aguas que recibe. Con la primera fase completada, esta planta se espera que maneje hasta 2.2 m³/segundo. Para el año 2035 se proyecta atender la demanda de aproximadamente 1,2 millones de personas. Una vez completadas las 3 fases, se espera que el volumen de agua tratada alcance, aproximadamente, 6.4 m³/segundo de agua. (FOCARD-APS, 2013).

Este proyecto se espera ayude grandemente al cumplimiento de la norma de descargas vigentes. Adicionalmente, contará con un proceso de cogeneración de energía, lo que permitirá que el proyecto sea registrado como un mecanismo de desarrollo limpio y entre en el mercado de ventas de carbono.

4. Agua y salud en las ciudades

De acuerdo con el informe “Situación de Salud de Panamá” (MINSa, 2013), la expansión de los servicios de agua potable y saneamiento en Panamá ha logrado que la mayoría de la población urbana tenga acceso a fuentes mejoradas de abastecimiento de agua potable. Sin embargo, son frecuentes las manifestaciones de protesta por deficiencia en la distribución y calidad del agua recibida, así como las denuncias relativas al colapso de los alcantarillados urbanos exponiendo las aguas servidas. Las cifras

oficiales establecen que el acceso al agua potable tuvo un incremento aproximado de 11.5% de 1992 a 2010, alcanzando una cobertura de 92.9%. Este mismo informe reporta que en las zonas urbanas la cobertura de saneamiento es de 98.9% y reconoce que en el saneamiento los puntos débiles son la cobertura, la calidad de los servicios y el tratamiento de aguas servidas urbanas, considerado éste la principal causa de graves problemas de contaminación en muchos lugares del país.

La tasa de mortalidad infantil en niños menores de cinco años como indicador importante de la interacción de múltiples factores entre los que está el aumento de la cobertura de los servicios básicos, especialmente el agua potable y saneamiento, disminuyó de 24.5 muertes por mil nacidos vivos en 1990 a 16.6 en 2011. No obstante, en las zonas urbanas no se refleja una mejora de este indicador, lo que posiblemente tenga relación con la migración de personas a la ciudad en busca de trabajo y la consecuente formación de bolsones de pobreza alrededor de las zonas urbanas, donde el abastecimiento de agua potable y el saneamiento es casi nulo.

4.1 Enfermedades asociadas al agua

En lo que se refiere a las enfermedades transmitidas por vectores que se desarrollan en agua, es importante resaltar que el dengue en el área urbana es uno de

los principales problemas de salud pública en Panamá, por la complejidad de factores que interactúan simultáneamente como lo son la pobreza, el crecimiento poblacional, la urbanización no controlada ni planificada, las migraciones, el deterioro del ambiente, el comercio de neumáticos sin reciclaje sostenido, la falta de acceso al agua potable, la disposición inadecuada de desechos sólidos que recogen agua, el aumento de chatarra y plástico (no biodegradables), el cambio climático, la poca educación en saneamiento ambiental, la falta de enfoque ecosistémico (ecosalud) para el abordaje del control de las enfermedades transmitidas por vectores, el clima tropical con más de 9 meses de lluvia, y la falta de cobertura y políticas de control de criaderos útiles en instituciones. En Panamá se ha reportado tanto *Aedes aegypti* como *Aedes albopictus*, ambos vectores con capacidad de transmitir los virus del dengue y *chikungunya* en áreas urbanas y rurales. Actualmente, 80% de los criaderos reportados son útiles, usualmente envases destinados a guardar el agua potable, en tanto que sólo 20% corresponde a recipientes inservibles como basura o chatarra. Estos datos indican que el principal factor de riesgo asociado al desarrollo de la epidemia en Panamá está relacionado con problemas en el suministro de agua (<http://www.minsa.gob.pa/informacion-salud/boletines-semanales-2012>).

La incidencia anual de dengue ha fluctuado de 2005 a 2013 (Figura 6), reportándose la menor tasa

Figura 5. Planta de tratamiento de aguas residuales del proyecto de saneamiento de la Bahía de Panamá



Fuente: <http://www.saneamientodepanama.com/planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales>

por 100 mil habitantes en 2013 (36.8) con 6 casos de dengue grave y ninguna defunción. En este período, la mayor tasa se reportó en 2009 (216.5) con 46 casos de dengue grave y 7 defunciones. Llama la atención que en 2011 con 51% del número de casos reportados en 2009 y una tasa de 104.2 casos por 100 mil habitantes, hubo 38 casos de dengue grave y 17 defunciones, siendo el año con mayor número de defunciones desde 1993 cuando se detectó el primer caso de dengue autóctono. Para este año (2014), el número de casos supera la cifra alcanzada en 2011, lo que denota que no ha habido sostenibilidad en el control del dengue en Panamá. Hasta el mes de junio de 2014, el sistema de vigilancia epidemiológica detectó tres casos importados de **chikungunya**, procedentes de República Dominicana y Haití (<http://articulos.sld.cu/dengue/tag/panama/>).

Con relación a la **malaria**, de 2005 a 2013 las tasas de morbilidad muestran descensos sostenidos desde una tasa de 113.6 casos por 100 mil habitantes en 2005 hasta 9.5 en el 2011 con un ligero incremento en 2012 (23.4). La tasa de mortalidad se ha mantenido baja con tendencia estable en los últimos años. Cabe destacar que los casos de **malaria** no se presentan en el área urbana, salvo algún caso importado de registro esporádico. Las áreas endémicas están en Darién,

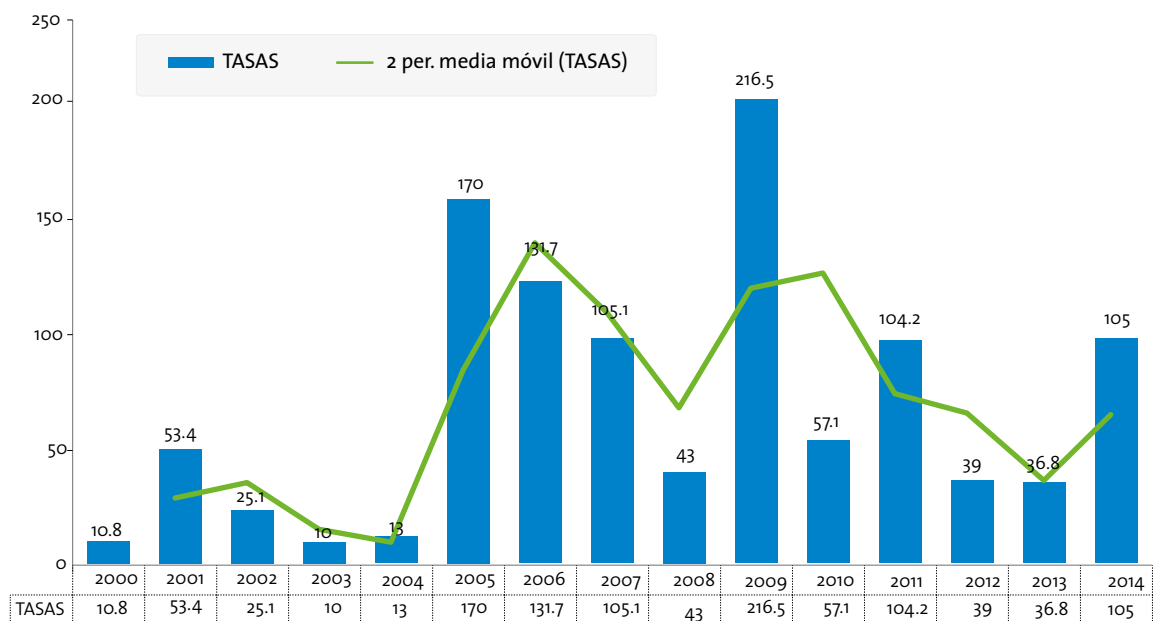
la Comarca Guna Yala, Bocas del Toro y la comarca Ngäbe Buglé. Finalmente, en Panamá la última epidemia de **cólera** se reportó de 1991 a 1993, después de la cual no se han reportado casos.

4.2 Algas, cianobacterias y toxinas en plantas potabilizadoras

En el área urbana de la ciudad de Panamá, existen dos plantas de tratamiento de agua: la de Chilibre y la de Miraflores; la primera bajo la responsabilidad del Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN) y la segunda administrada por la Autoridad del Canal de Panamá (ACP).

De acuerdo con Guerra y Marciaga (2012), el laboratorio de Calidad del agua del IDAAN desde 2012 realiza pruebas para detectar la presencia de algas, cianobacterias y toxinas en las fuentes de abastecimiento y las aguas tratadas en las plantas de Chilibre, Rufina Alfaro de Los Santos, Roberto Reina de Chitré y la de Santiago de Veraguas. Guerra y Marciaga (*op. cit.*) acotan también que en la planta de Chilibre predominan algas que causan sabor y olor como *Staurastrum* y cianobacterias como *Gomphosphaeria Anabaena*, *Oscillatoria*, *Cilindrospermum*, esta última una de las cianobacterias más tóxicas.

Figura 6. Tasas de incidencia de Dengue en la República de Panamá, Años 2000-2014



Fuente: Datos obtenidos del Ministerio de Salud de Panamá, 2014

En la ACP se cuenta con diversos programas de monitoreo de la calidad del agua, tanto en la cuenca como en las plantas potabilizadoras de Miraflores, Monte Esperanza y Mendoza. El índice de calidad del agua (ICA) en los embalses Gatún y Alajuela varía de bueno a excelente. En las toma de agua cruda de Paraíso y Gamboa existen algas verdes y diatomeas que en ciertos momentos son desplazadas por las cianobacterias, tal como ocurrió en 2011, cuando se identificó la cianobacteria no tóxica *Cyanogranis ferruginea* en la toma de agua de Gamboa. La ACP mantiene un sistema de vigilancia para detección del afloramiento de cianobacterias con un sensor acoplado a la sonda Hidrolab DS5, con sistema de vecinos vigilantes y monitorea microcistinas en las tomas de agua y algunos puntos del proceso de potabilización, además de la aplicación de técnicas para la detección de genes de cianobacterias potencialmente tóxicas.

4.3 Calidad biológica del agua en plantas de potabilizadoras

4.3.1 Detección de *Giardia* spp. y *Cryptosporidium* spp. en plantas potabilizadoras

Los informes anuales de la ACP desde 2005 a la fecha reiteran que se mantiene el monitoreo de la presencia de *Giardia* spp. y *Cryptosporidium* spp. en las plantas potabilizadoras de Miraflores (Panamá) y Monte Esperanza (Colón), como parte del monitoreo de la calidad del agua. Por otra parte, la Autoridad de los Servicios Públicos (ASEP) y anteriormente el Ente Regulador de los Servicios Públicos en 2003, como entidad externa, tiene entre sus componentes el monitoreo de la calidad del agua desde el punto de vista biológico y asegura que en las plantas potabilizadoras de la ciudad de Panamá se vigila la presencia de cianobacterias, toxinas y protozoarios.

Estudios realizados en plantas potabilizadoras de comunidades aledañas a la capital por Rivera *et al.* (1991) reportaron quistes de *Giardia* spp. y ooquistes de *Cryptosporidium* spp. en aguas crudas de las plantas potabilizadoras de La Chorrera, Chitré y Chepo durante la estación seca; no obstante, para la estación lluviosa los resultados en las tres plantas potabilizadoras fue negativo. Igualmente, el estudio de De la Cruz *et al.* (1997) señala la presencia de quistes de *Giardia* spp. y ooquistes de *Cryptosporidium* spp. en aguas crudas y tratadas de la planta potabilizadora

de La Chorrera en la estación seca, y sólo *Cryptosporidium* spp. en aguas tratadas en estación lluviosa. En la potabilizadora de Colón se reportó la presencia de *Cryptosporidium* spp. en aguas crudas durante la estación lluviosa. Sin embargo, en la potabilizadora de Chilibre, que abastece de agua a la mayor parte de la población urbana de la ciudad capital, no se detectó la presencia de ninguno de estos parásitos.

4.3.2 Estudios relativos a la calidad microbiológica del agua en plantas potabilizadoras

Herrera *et al.* (2005) estudiaron la calidad microbiológica del agua potable proveniente de las redes de distribución del área metropolitana y La Chorrera, y no detectaron la presencia de coliformes fecales en éstas. También se encontró que la concentración de las bacterias heterotróficas estaba dentro de los parámetros de calidad. En un estudio similar realizado en las potabilizadoras de Monte Esperanza, Sabanitas y Río Gatún, Abre *et al.* (2008) reportaron que la calidad del agua de estas potabilizadoras cumple con las normas COPANIT-DGNTI 1999. Barranco y González (2010), en estudio realizado en la planta potabilizadora de Mendoza en La Chorrera y sus redes de distribución, demostraron que durante los tres primeros meses de funcionamiento hubo presencia de bacterias coliformes totales, fecales y heterótrofas por encima de los valores aceptables, con variabilidad de acuerdo al mes y el punto de toma de la muestra.

4.4 Estudios relativos a la calidad del agua de fuentes naturales y recreacionales urbanas

Pimentel *et al.* (2007) realizaron un estudio de calidad microbiológica del agua del Lago de las Cumbres relativo a la presencia de coliformes fecales y totales, encontrando una fluctuación en la densidad de estas entidades con una mayor presencia en el mes de septiembre que en ese momento reportó la mayor precipitación pluvial. Acevedo y Sánchez (2009), en un estudio similar realizado en el Río Juan Díaz, determinaron que el mayor nivel de contaminación del río se encuentra en la parte baja cercana a la desembocadura con mayor incidencia en el mes de octubre. Chifundo y Hughes (2011) reportaron que en el Lago Gatún la presencia de coliformes totales y fecales es mayor en los sitios asociados a mayor actividad antropogénica durante la época lluviosa. Finalmente, en Panamá no se han hecho estudios que determi-

nen la presencia de amebas de vida libre en aguas recreacionales y no se han documentado casos de meningoencefalitis amebiana primaria, ni encefalitis amebiana granulomatosa.

4.5 *Cryptosporidium* y *Giardia* en niños menores de cinco años

Álvarez *et al.* (2010) encontraron que *Cryptosporidium* spp. tiene una prevalencia de 6.4% en niños menores de cinco años en un estudio que abarcó diversas regiones del país, destacando que Chorrera presentó la prevalencia más alta (16%), seguida de Panamá Metro (11%). Llama la atención que, aunque los trabajos realizados por De la Cruz *et al.* (1997) y Rivera *et al.* (1991) datan de mucho tiempo, hay coincidencia con la alta incidencia de cryptosporidiosis en niños menores de cinco años en La Chorrera. Álvarez *et al.* (2010) encontraron una prevalencia relativamente alta de *Giardia* spp. (10%) en esta misma población, aunque no fue la más alta.

5. Variabilidad y cambio climático, su impacto en el recurso agua en ciudades

5.1 El cambio climático en Panamá: Observaciones con énfasis en ciudades

De acuerdo con el IPCC (2013), el cambio climático es inequívoco y sus impactos tienden a acrecentarse con el tiempo. El Quinto Informe del IPCC ha puesto un énfasis especial en la evaluación del cambio climático en áreas urbanas, pues ha reconocido que muchos riesgos del cambio climático a nivel mundial están concentrados en áreas urbanas: olas de calor, eventos extremos de precipitación, inundaciones, deslizamientos, contaminación del aire, sequía y escasez de agua (IPCC, 2014). También indica el IPCC (2014) que la región de América Latina es una de las regiones geográficas con mayor porcentaje de población urbana (82%). Este porcentaje sobrepasa con creces el promedio mundial de población urbana, que, de acuerdo con la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, era de aproximadamente 50% en 2005. El alto porcentaje de población urbana, conjuntamente con otros factores que incrementan la vulnerabilidad de dichas poblaciones, ha dado gran relevancia

al enfoque hacia la adaptación al cambio climático en áreas urbanas.

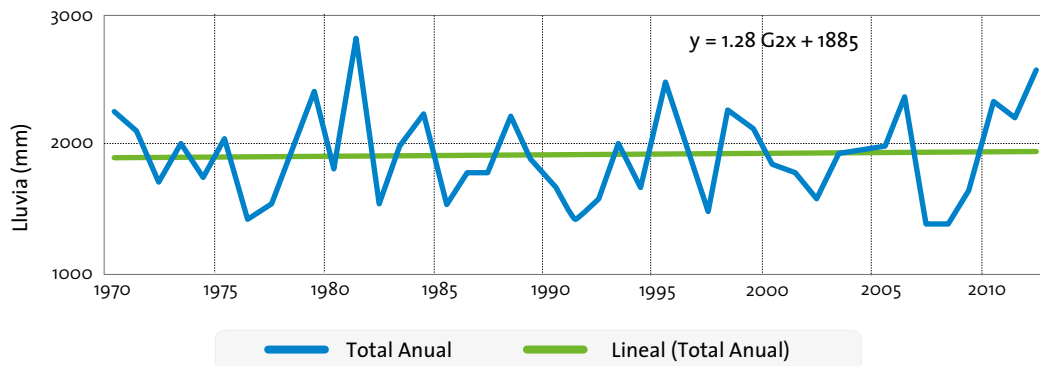
Los patrones de asentamientos humanos alrededor del mundo, la dinámica de la urbanización y las condiciones económicas desiguales han contribuido a las actuales tendencias de vulnerabilidad e impactos a eventos extremos relacionados con el cambio climático (IPCC, 2012). Tal y como indica el IPCC (2014), el crecimiento acelerado en áreas urbanas ha dado lugar al surgimiento de áreas altamente vulnerables a eventos climáticos extremos, especialmente en países en vías de desarrollo. El área metropolitana de la ciudad de Panamá está experimentando un acelerado crecimiento. El incremento de la población urbana en Panamá ha tenido proporciones exponenciales, pasando de 36% en el año 1950 a más de 62% en el año 2000 (ANAM, 2012). Este incremento poblacional, aunado a una deficiente planificación urbana y al aumento en la frecuencia de eventos extremos sin precedentes en la historia, incrementa la vulnerabilidad y magnitud de los impactos. Estos hechos apuntan hacia la necesidad de aplicar estrategias para hacerle frente al cambio climático, tanto en adaptación como en mitigación, pero muy especialmente en adaptación, ya que los impactos de cambio climático están afectando la calidad de vida y ecosistemas de Panamá.

5.2 Variabilidad climática y cambio climático

Olmedo y López (2014), en el “Informe GEO 2014: Comportamiento de algunos aspectos del clima en Panamá”, analizaron las variables de precipitación y temperatura para 5 estaciones meteorológicas a nivel nacional. Se hicieron análisis para la precipitación (períodos entre 1970-2012 o 1974-2012) y temperatura para el período 1971-2012.

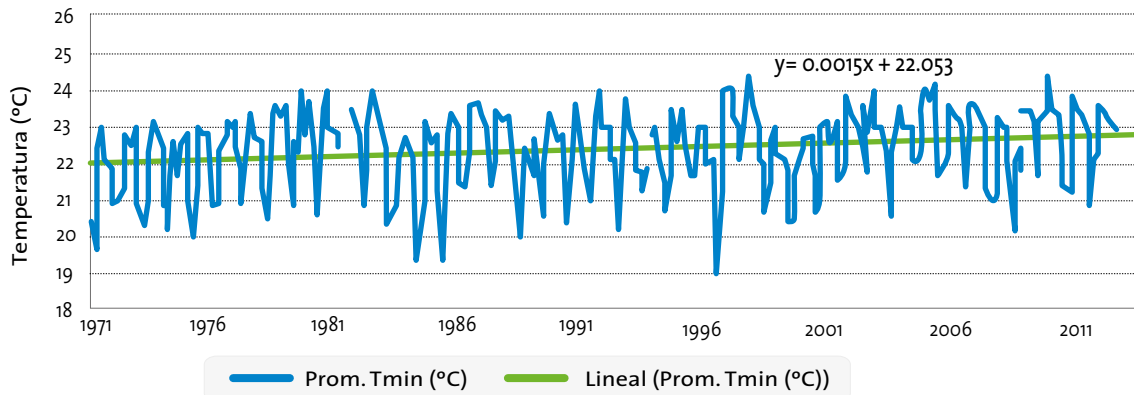
En general se observó una tendencia al aumento tanto de la precipitación como de las temperaturas máximas y mínimas con el tiempo. Un ejemplo de estas tendencias se aprecia en las figuras 7-9, correspondiente a la Estación Tocumen en la ciudad de Panamá. Se escogió esta estación por ser la única estación del estudio en el área metropolitana. Como puede verse en estas figuras, tanto las temperaturas mínimas como máximas tuvieron un incremento de aproximadamente un grado en aproximadamente 40 años. Igualmente, la precipitación total anual en este período se incrementó alrededor de 55 mm (figuras 7-9).

Figura 7. Comportamiento anual de la lluvia-Tocumen. Período: 1970-2012



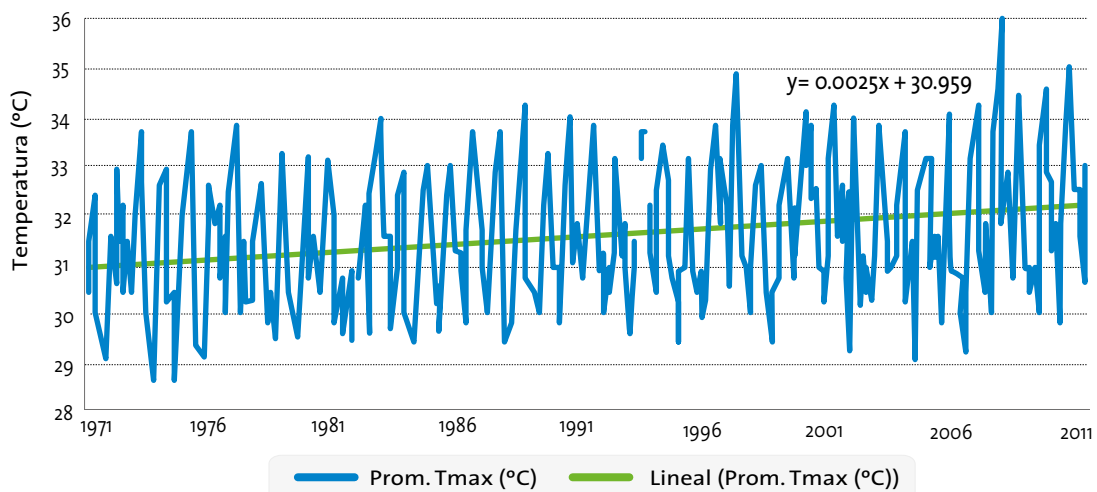
Fuente: Olmedo y López, 2014.

Figura 8. Temperatura Mínima promedio de la estación Tocumen. Período 1971-2012



Fuente: Olmedo y López, 2014.

Figura 9. Temperatura Máxima promedio de la estación Tocumen. Período: 1971-2012



Fuente: Olmedo y López, 2014.

5.3 Eventos hidrometeorológicos extremos y sus impactos

De acuerdo con el IPCC existe una “tendencia estadísticamente significativa de eventos extremos de precipitación en algunas regiones” (IPCC, 2012, p.6). El cambio climático implica cambios en la frecuencia, intensidad, duración y distribución espacial y temporal de los eventos extremos, que pueden causar perturbaciones en el funcionamiento de los ecosistemas naturales y humanos (Marengo, 2013). En América Central se han observado en los últimos 30 años tendencias significativas de aumento en la temperatura e incremento en eventos extremos incluyendo tormentas, inundaciones y sequía (IPCC, 2014). En este sentido, Garlatti (2013) indica que, en el periodo de 1987 a 1998, el número de desastres anuales relacionados con el cambio climático en países en desarrollo fue de 195, mientras que en el periodo de 2000 a 2006 este número ascendió a 365. Estas estadísticas indican un incremento de 87%. También sostiene Garlatti que 75% de los desastres en la década de 1990 estuvo relacionado con eventos climáticos, con el mayor número de eventos en la categoría de inundaciones y sequías, y más de 95% de las muertes causadas por desastres naturales ocurrió en países en desarrollo.

Observaciones de la variabilidad y cambio climático, al igual que de los impactos asociados, indican que las consecuencias más importantes para la región centroamericana están relacionadas con eventos hidrometeorológicos extremos, incluyendo inundaciones, deslizamientos y sequías (Garlatti, 2013). El Sistema de Integración Centroamericana (SICA) ha reconocido que existe alta variabilidad de la precipitación anual en la región, donde los patrones intraanuales han perturbado la distribución temporal y espacial de la precipitación. En este sentido, Aguilar *et al.* (2005) sostienen que, aunque no existen diferencias significativas en la cantidad total de lluvia anual en la región, sí ha existido un aumento de los periodos de días húmedos y muy húmedos, lo cual indica un incremento de los eventos extremos de precipitación.

Para el caso de Panamá, Fábrega *et al.* (2013) reportan un incremento en la frecuencia de eventos extremos de precipitación. Los principales impactos del cambio climático en Panamá están relacionados con la ocurrencia de eventos extremos de precipita-

ción y las consecuentes inundaciones y deslizamientos por la saturación de taludes, y el aumento en la incidencia de enfermedades transmitidas por vectores, como el dengue. La ANAM indica, por ejemplo, que a partir del año 2004 se ha experimentado un incremento inusual de la magnitud y frecuencia de eventos extremos, en especial eventos de origen hidrometeorológico (2011). Esto es confirmado por datos obtenidos de las bases de datos internacionales sobre desastres.

El evento extremo de precipitación más importante para el área metropolitana de Panamá ocurrió en el mes de diciembre de 2010. Esta tormenta se conoce con el nombre de “La Purísima”, nombre que hace alusión a las últimas precipitaciones de la estación lluviosa, que ocurren aproximadamente cinco días antes o después del 8 de diciembre, festividad de la Inmaculada Concepción de la Virgen María (Espinosa, 2010). De acuerdo con los registros de la ACP (Espinosa, 2010), La Purísima constituyó la mayor tormenta de 3 días en la historia de la cuenca del Canal de Panamá, la cual produjo un récord de 760 mm de lluvia en 24 horas. La precipitación registrada en los días 7 al 9 de diciembre de 2010 alcanzó valores de dos a cinco veces la precipitación normal histórica del mes de diciembre, correspondiendo a un período de retorno de 400 años (ACP, 2011a). Por otro lado, en todos los ríos principales de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá los caudales del mes de diciembre de 2010 fueron superiores al promedio histórico del mes, excediendo este promedio entre 200 y 400% (ACP, 2011a). Producto de este evento de precipitación, las crecidas de los principales ríos que aportan agua al Lago Alajuela y los más de 500 deslizamientos de la tierra causaron un aporte excesivo de sedimentos a los cuerpos de agua (ACP, 2011b).

Uno de los principales impactos del cambio climático en las áreas urbanas de Panamá son las inundaciones. Es probable que las mismas se vuelvan más comunes en los próximos 100 años en regiones con alto nivel de precipitación. Además de las pérdidas humanas y económicas asociadas a las inundaciones, estos eventos representan un riesgo a la salud humana con la proliferación de enfermedades infecciosas, enfermedades de origen hídrico y enfermedades transmitidas por vectores.

Utilizando la base de datos “DesInventar”, se analizó la ocurrencia de inundaciones en las principales ciudades de la República de Panamá: ciudades

de Panamá y San Miguelito, Colón, Santiago de Veraguas y David, las cuales se muestran en la Figura 10. La base de datos “DesInventar” fue desarrollada en 1994 por la Red de Estudios Sociales sobre Prevención de Desastres en América Latina (La Red), con el fin de poner a disposición de los tomadores de decisiones datos sobre los eventos de desastres y el número de personas afectadas. Esta base de datos contiene información de desastres de mediana y gran magnitud para la región latinoamericana de los últimos 40 años. En Panamá, la entidad encargada de actualizar la base de datos es el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC).

Los registros históricos de “DesInventar” indican un aumento en las últimas décadas de los eventos de inundaciones y número de personas afectadas por estos eventos, tal y como se puede observar en las figuras 11 y 12. Comparando el número de personas afectadas en cada ciudad, los registros indican que la ciudad de Panamá tiene la mayor proporción de afectados por inundaciones en áreas urbanas de Panamá (Figura 13).

Otro impacto importante de los eventos extremos de precipitación y deslizamientos de tierra que se ha experimentado en las áreas urbanas de Panamá es la perturbación en el funcionamiento de los sistemas de agua potable. El ejemplo más claro es el evento de La Purísima 2010. Los deslizamientos de tierra provocados por la tormenta tuvieron como consecuencia el excesivo aporte de sedimentos en suspensión al Lago Alajuela, lo cual elevó la turbiedad a valores superiores a 700 Unidades Nefelométricas de Turbidez (Espinosa, 2010). En el Lago Alajuela se encuentra la captación de agua de la principal planta de tratamiento de agua para consumo humano que suplente a la ciudad de Panamá. Esta planta colapsó, ya que no pudo manejar los elevados niveles de turbiedad, dejando a gran parte de la ciudad de Panamá sin agua potable por aproximadamente 50 días (Espinosa, 2010). Otro impacto importante de este evento extremo fue la interrupción del tránsito de buques por el Canal de Panamá por 17 horas (www.laprensapanama.com).

La afectación de los recursos hídricos por el cambio climático tiene también implicaciones en la generación de energía hidroeléctrica. La matriz energética de Panamá se compone de aproximadamente 60% de energía hidroeléctrica. La ciudad de Panamá ha sufrido los impactos de la sequía en las cuencas

hidrográficas que alimentan las principales plantas generadoras de energía hidroeléctrica. Un ejemplo fue la suspensión de clases por tres días en escuelas y universidades en Panamá en mayo de 2013. En el año 2014 también ha sido necesario aplicar medidas de ahorro energético para hacer frente a los bajos niveles de generación hidroeléctrica por falta de agua en los embalses, debido a que la estación seca se prolonga más allá de lo normal.

5.4 Incremento de la incidencia de enfermedades transmitidas por vectores

El calentamiento global y el cambio y la variabilidad climática están produciendo impactos significativos en la salud humana en Centroamérica (IPCC, 2014). Impactos específicos reportados por el Quinto Informe del IPCC incluyen: enfermedades respiratorias y cardiovasculares, enfermedades de origen hídrico y aquellas transmitidas por vectores, como la **malaria**, el dengue, la fiebre amarilla y el hanta. El cambio climático exacerbará los riesgos y vulnerabilidad existentes debido a la tasa de crecimiento poblacional, los servicios de salud y sanidad, incluyendo el manejo de residuos y la contaminación ambiental (IPCC, 2014).

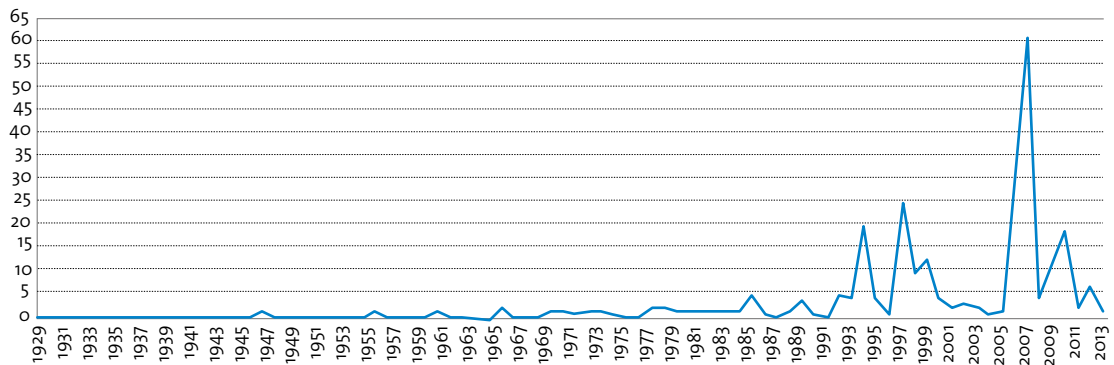
Una de las enfermedades que está afectando a la región centroamericana en las últimas décadas es el dengue. Epstein (2000) sostiene que el dengue, una enfermedad que había sido prácticamente erradicada en el Hemisferio Occidental, ha reaparecido con más de 200 mil casos en 1995. Las estadísticas indican que estas cifras han tendido a aumentar con los años. La situación de proliferación del mosquito *Aedes aegypti* y la incidencia del dengue es tal en las últimas décadas que la Organización Mundial de la

Figura 10. Ubicación de las cinco principales ciudades de la República de Panamá



Fuente: DesInventar, 2014

Figura 11. Inundaciones en cinco ciudades de la república de Panamá, período 1929- 2013.



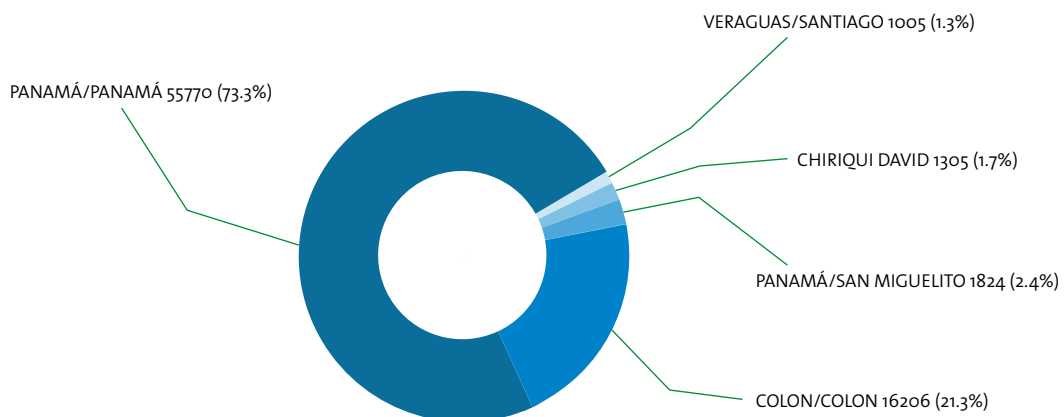
Fuente: DesInventar, 2014

Figura 12. Número de personas afectadas por inundaciones en cinco ciudades de la república de Panamá, período 1929- 2013.



Fuente: DesInventar, 2014

Figura 13. Personas afectas por inundaciones en 5 ciudades de Panamá.



Fuente: DesInventar, 2014

Salud lo ha catalogado como uno de los grandes problemas de salud pública, pues en los últimos 25 años ha alcanzado en algunos países del continente americano niveles de epidemia (San Martín y Brathwaite, 2007). Estos autores reportan casos de dengue en al menos 30 países del continente americano, con aproximadamente 3 millones de casos entre los años 2000 y 2005, de los cuales 65 mil 235 fueron de dengue grave, con un número de muertes cercano a las 800 personas.

5.5 Atendiendo los problemas del cambio climático a través de un adecuado marco legal e institucional

Alrededor del mundo, en todos los niveles gubernamentales se está acumulando experiencia sobre adaptación al cambio climático y existe un gran número de ciudades que están tomando seriamente la ruta de la resiliencia (Newman *et al.*, 2009). Sin embargo, las experiencias reportadas para América Central se enfocan muy poco a la resiliencia urbana y están más relacionadas con el manejo de áreas naturales, cultivos y manejo integrado de recursos hídricos (IPCC, 2014). Con la creciente urbanización de la región, y la necesidad de mejoramiento de los sistemas de infraestructuras como acueductos, alcantarillados y otros sistemas básicos, es urgente incrementar las medidas de adaptación en el área urbana. Dentro de las estrategias encaminadas a hacer frente al cambio climático, el marco legal e institucional juega un papel muy importante, lo mismo que la formación de capacidades, la investigación y las soluciones estructurales y no estructurales.

Para afrontar el cambio climático en Panamá, tanto en adaptación como mitigación, avances institucionales y legales incluyen la aprobación de la Política Nacional de Cambio Climático dentro de la ANAM y también la creación del Comité Nacional de Cambio Climático, el cual cuenta con la representación de 27 instituciones del sector público incluyendo el sector académico.

Para hacer frente a los compromisos internacionales en el tema de cambio climático, Panamá ha presentado dos Comunicaciones Nacionales ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. La Segunda Comunicación Nacional se presentó en el año 2011 y en la misma se indica que, de acuerdo con el inventario gases de

invernadero tomando como base el año 2000, Panamá es un país fijador de carbono. Recientemente se aprobó el Plan Nacional de Gestión Integrada de Recursos Hídricos de la República de Panamá 2010-2030, cuyo objetivo es orientar la toma de decisiones “para maximizar la función económica, ambiental y social del agua” (ANAM, 2011). Dicho Plan incluye el análisis del cambio climático, gestión del riesgo y vulnerabilidad, considerando entre otros aspectos, los escenarios climáticos para Panamá, los eventos extremos y su impacto sobre recursos hídricos y las opciones de mitigación y adaptación.

5.6 Factores de resiliencia urbana a los impactos del cambio climático

Existen diferentes alternativas encaminadas a aumentar la resiliencia urbana ante el cambio climático. Una de las más importantes que se está promoviendo a nivel mundial son los edificios verdes. En Panamá, los edificios con certificación LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) se promueven a través del Panamá Green Building Council, adscrito al World Green Building Council. El Panama Green Building Council surgió en el año 2009 con el fin de promover la sostenibilidad en Panamá a través del diseño, construcción y operación de edificios con certificación LEED (www.panamagbc.org). Según información suministrada por el Panama Green Building Council, actualmente existen 10 edificios con certificación LEED en la ciudad de Panamá y 60 proyectos registrados. Panamá ocupa el segundo lugar en Centroamérica y el Caribe en cuanto a edificios certificados LEED. Es importante señalar que en Panamá no existen hoy día incentivos para la construcción sostenible. Otra solución estructural que contribuye a incrementar la resiliencia a las inundaciones son los pavimentos permeables, cuyo uso en Panamá requiere mayor estudio.

Además de las soluciones estructurales, la resiliencia urbana al cambio climático depende de la sensibilización de la población y la toma de conciencia del papel que cada uno desempeña en el problema y también en la solución. Es necesario un cambio en el estilo de vida que incluya una disminución en los patrones de consumo y la promoción de estilos de vida saludable, ya que una población con condiciones adecuadas de salud tiene mayor probabilidad de hacer frente con éxito a perturbaciones a los sistemas causadas por eventos extremos relacionados con el clima.

6. Consideraciones finales

En este capítulo podemos concluir que Panamá es un país con un recurso hídrico abundante. Sin embargo, la utilización del mismo como fuente de agua potable para áreas urbanas se ha concentrado casi exclusivamente en fuentes de aguas superficiales. Igualmente, aunque más de 90% de la población tiene acceso a agua potable en general, aún existen regiones (en especial zonas indígenas) en donde menos de la mitad de la población tiene acceso a agua potable.

Para el caso del manejo de aguas servidas, se tiene que en los últimos años se han dado grandes avances, tanto en el marco legal como en aspectos operativos. En los últimos años se han construido cerca de 100 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) con tratamiento secundario, sobre todo en nuevos desarrollos urbanísticos. Por otro lado, la fuerte inversión que desde 2006 realiza el Estado a través de los distintos gobiernos con el proyecto “Saneamiento de la Ciudad y la Bahía de Panamá”, el cual incluye una PTAR que, una vez concluidas las tres fases del proyecto, debe recoger cerca de 70% de las aguas servidas de la ciudad de Panamá, con tratamiento terciario en Panamá. Preocupa, sin embargo, que esta inversión no vaya acompañada de

brindarle al IDAAN, institución que debe finalmente administrar estas PTAR, la capacidad de gestión (recurso humano y financiero) necesaria para cumplir con esta tarea.

En materia de salud se puede concluir que el dengue es actualmente uno de los principales problemas de salud pública en Panamá. Diversos estudios muestran que se ha detectado la presencia de *Giardia* spp. y *Cryptosporidium* spp. en fuentes de aguas crudas de plantas potabilizadoras en centros urbanos, sobre todo en la época seca. Esta situación hace necesaria una mayor vigilancia en la presencia de estos parásitos, para evitar un posible brote de enfermedades relacionadas con los mismos.

Por último, la relación de las aguas urbanas con el cambio climático adquiere cada día más relevancia. Aquí es importante destacar dos cosas: primero, el incremento en eventos extremos y la vulnerabilidad de las zonas urbanas frente a estos fenómenos y, segundo, la necesidad no sólo de respuestas estructurales que requieren la inversión de recursos, sino también de una mayor toma de conciencia por parte de los ciudadanos acerca del papel que todos tenemos en el problema.

7. Agradecimientos

Los autores desean agradecer de manera muy especial a la estudiante de Ing. Ambiental Águeda Pecchio, por su apoyo en la búsqueda de información para la sección de fuentes de agua, su invaluable cooperación. Agradecemos también a la Lic. Tania Gómez, Profesora Asistente del Departamento de Microbiología de la Facultad de Medicina de la Universidad de Panamá, por su colaboración en la búsqueda de información de las tesis en el área de salud. Igualmente, al Lic. Ricardo Cerrud y a la Lic. Elda Cruz del MINSA, por su apoyo en la búsqueda de información en la sección de agua potable. Finalmente, a la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación de Panamá (SENACYT) por su apoyo a uno de los autores como miembro del Sistema Nacional de Investigación de Panamá, y a la Asociación Panameña para el Avance de la Ciencia (APANAC), nuestro más sincero reconocimiento.

8. Referencias

- Abre J.T. and Grant B.V. (2008). Calidad del agua abastecida por las potabilizadoras de Monte Esperanza, Sabanitas y Río Gatún: distrito de Colón, provincia de Colón durante el 2006. Colón, Panama, Universidad de Panamá CRU.
- Acevedo M. and Sánchez J. (2009). Análisis microbiológico del agua en el río Juan Díaz distrito de Panamá, provincia de Panamá. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Escuela de Biología, Universidad de Panamá.
- Aguilar, E. et al. (2005). *Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and Northern South America, 1961-2003*.
- Álvarez, D.; Pineda, V.; Mendoza Y.; Santamaría A.; Pascale J.M.; Calzada, J. and Saldaña, A. (2010). Identificación y caracterización molecular de las especies *Cryptosporidium* spp. circulantes en niños menores de cinco años de diversas regiones de Panamá. Master's thesis in Biomedical Sciences with Specialization in Parasitology. Facultad de Medicina, Universidad de Panamá.
- Autoridad del Canal de Panamá (2006). Plan Maestro del Canal de Panamá. Cap. 7, Administración del Recurso Hídrico.
- Autoridad del Canal de Panamá (2011a). Anuario Hidrológico 2010.
- Autoridad del Canal de Panamá (2011b). Informe de Calidad de Agua de la Cuenca del Canal 2010.
- Autoridad Nacional del Ambiente (2010). Atlas Ambiental de la República de Panamá.
- Autoridad Nacional del Ambiente (2011). Plan Nacional de Gestión Integrada de Recursos Hídricos de la República de Panamá, 2010-2030.
- Autoridad Nacional del Ambiente (2012). Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.
- Barranco S., R.E. and González M., K.D. (2010). Análisis de la calidad microbiológica del agua de la Planta Potabilizadora de Mendoza en La Chorrera y sus redes de distribución, durante sus tres primeros meses de funcionamiento. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Escuela de Biología, Universidad de Panamá.
- Cano, I. (2011). "Descripción de los Sistemas de Acueducto Panamá Metro y Panamá Oeste", oral presentation. Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN), Dirección de Operaciones.
- Centro de Agua del Trópico Húmedo de América Latina y el Caribe (CATHALAC) (2011). Proyecto "Implementación de la plataforma geográfica e hidrometeorológica integrada de la Región Centroamericana y sus aplicaciones prácticas". Programa Regional de Reducción de la Vulnerabilidad y Degradación Ambiental" (PREVDA).
- Contraloría General de la República (2010). Censo Nacional de Población y Vivienda, 2010.
- Chifundo, J. and Hughes, M. (2011). Densidad de coliformes totales y coliformes termotolerantes en la zona del Lago Gatún aledaña al corregimiento de Limón. Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Escuela de Biología, Universidad de Panamá.
- De la Cruz, A.; Rodríguez, Y. and Córdoba, D. (1997). Detección de quistes de *Giardia* spp. y ooquistes de *Cryptosporidium* spp., colifagos y coliformes como indicadores de contaminación en agua cruda, tratada y red de distribución en algunas regiones de la República de Panamá. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Escuela de Biología. Universidad de Panamá.
- Epstein, P. R. (2000). "Salud y Cambio Climático", in *Cambio climático y desarrollo*, Ed. L. Gómez Echeverri. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo and Yale School of Forestry and Environmental Studies, pp. 125-142.
- Espinosa, J. (2010). Gestión del agua en el Canal de Panamá durante la inundación extrema en diciembre de 2010. http://www.cazalac.org/documentos/simposio_help_2011/
- Fábrega, E J. (1992). *Análisis de los costos de producción de agua potable en plantas de tratamiento operadas por el Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales en la República. Universidad Tecnológica de Panamá.*
- Fábrega, J.; Nakaegawa, T.; Pinzón, R.; Nakayama, K.; Arakawa, O. and SOUSEI (2013). Theme Modeling Group. Hydroclimate projections for Panama in the late 21st Century, Hydrological Research Letters. *Japan Society of Hydrology and Water Resources*. 7(2), 2013, pp. 23-29. doi: 10.3178/HRL.7.23
- Foro Centroamericano y República Dominicana de Agua Potable y Saneamiento (FOCARD-APS). "Situación actual y perspectivas" in *Gestión de las Excretas y Aguas Residuales*. Panama, pp. 32, 2013

- Garlatti, Adrián (2013). *Climate Change and Extreme Weather Events in Latin America. An Exposure Index*.
- Guerra, C. and Marciaga B. (2012). "Determinación de Algas, Cianobacterias y Toxinas en Plantas de Tratamiento de Agua Potable y sus redes de distribución", Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN) in: I SEMINARIO- TALLER Cooperación Internacional University Network (IUN) y Autoridad del Canal de Panamá (ACP) CIANOBACTERIAS Y CALIDAD DE AGUA.
- Herrera R., J.M.; Sánchez, C.O. (2005). Análisis de la calidad microbiológica del agua potable proveniente de las redes de distribución del área Metropolitana y La Chorrera. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Escuela de Biología. Universidad de Panamá.
- Instituto de Acueducto y Alcantarillados Nacionales (IDAAN). Boletín Estadístico No. 24. 2008-2010
- Instituto de Acueducto y Alcantarillados Nacionales (IDAAN). *Boletín Estadístico* No. 26. 2010-2012
- Instituto de Estadística de Panamá, 2010.
- IPCC (2012). Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. Summary for Policymakers,
- IPCC (2013). Resumen para responsables de políticas. In: *Cambio Climático 2013: Bases físicas*. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge, UK, and New York, USA, Cambridge University Press.
- IPCC (2014). Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Part A: Global and Sectorial Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge, UK and New, York, USA, Cambridge University Press, 32 pp.
- Marengo, J. (2013). Future Climate change projections for the Latin American Region (from Mexico southwards). Project Report. National Institute for Space Research (INPE). Brazil.
- Márquez de Rojas, Icela Ibeth (2003). "Situación Microbiológica del Río Zarati". *Civil La Revista*. Vol. 1. Year 3. Universidad Tecnológica de Panamá. Facultad de Ingeniería Civil. Septiembre, 2003.
- Ministerio de Economía y Finanzas. Atlas Social de Panamá: Desigualdades en el acceso y uso del agua potable en Panamá, 2012.
- Ministerio de Salud (MINSA). Monitoreo de los avances de país en agua potable y saneamiento, Dirección del Subsector de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario, April 2014.
- Ministerio de Salud (MINSA). Análisis y Evaluación Mundiales del Saneamiento y el Agua Potable (GLAAS), Dirección del Subsector de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario, June 2013.
- Newman, P.T. & Boyer, H. (2009). *Resilient Cities: Responding to Peak Oil and Climate Change*. Island Press.

- Olmedo, B. and López, P. (Julio de 2014). Comportamiento de algunos aspectos del Clima en Panamá, INFORME GEO 2014, Gerencia de Hidrometeorología, ETESA.
- Pimentel, M. and Valdés, M. (2007). Calidad microbiológica del agua del Lago Las Cumbres. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Escuela de Biología, Universidad de Panamá.
- Rivera Christ, B.; Barahona O. and Guerrero J. (1991). Identificación de ooquistes del género *Cryptosporidium* y quistes del género *Giardia* en aguas crudas, tratadas y redes de distribución en algunas regiones de la República de Panamá. Graduation study. Facultad de Ciencias Naturales Exactas y Tecnología. Escuela de Biología, Universidad de Panamá.
- Rojas Márquez, I. L. (2006). Estrategia integral para la recolección y tratamiento de aguas residuales que vierten al canal. Thesis. Universidad Tecnológica de Panamá.
- San Martín, J.L. and Brathwaite-Dick, O. (2007). La Estrategia de Gestión Integrada para la Prevención y el Control del Dengue en la Región de las Américas. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 21(1):55-63.

Referencias de Internet

1. <http://articulos.sld.cu/dengue/tag/panama/>
2. <http://data.worldbank.org/indicator/SH.STA.ACSN.UR>. Last accessed July 31, 2014.
3. <http://desinventar.org>. Last accessed May 2014.
4. <http://micanaldepanama.com/nosotros/sobre-la-acp/rendicion-de-cuentas/presupuestos-y-proyectos/informes-anales/> 2013, 2012, 2011, 2010.
5. <http://panamagbc.org>
6. <http://www.cich.org/documentos/caracteri-sociodemografica.pdf>
7. <http://www.idaan.gob.pa/detalle.php?cid=2&sid=31&id=38>
8. <http://www.laprensapanama.com>
9. <http://www.minsa.gob.pa/informacion-salud/boletines-semanales-2012>
10. http://www.minsa.gob.pa/sites/default/files/publicaciones/situacion_de_salud_panama_2013_o.pdf
Situación de Salud de Panamá 2013. Ministerio de Salud. Dirección Nacional de Planificación.
11. <http://www.saneamientodepanama.com/planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales>
12. <https://micanaldepanama.com/wp-content/uploads/2012/06/2010.pdf> Índice de Calidad del Agua (ICA)
13. <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/pm.html>

Perú



La Plaza de Armas o Plaza Mayor en el Centro Histórico de Lima. Foto: ©iStock.com/Holger Mette.



“El desafío del futuro del Perú se decidirá en sus ciudades. Antaño las sociedades urbanas supieron valorar el don del agua; así Caral, Macchu Picchu, Cusco, Kuelap... Hoy, nuestras ciudades transforman los ríos en cloacas. Conos de deyección y cauces están ocupados por viviendas. El derroche descontrolado del agua es espejo de la insolidaridad entre nosotros y para con la naturaleza. A pesar de tener 4.6% de las aguas superficiales del mundo, las desigualdades sociales y la contaminación vuelve urgente un proceso de gestión sostenible de las aguas urbanas.”

El Agua Urbana en el Perú

Nicole Bernex Weiss, Víctor Carlotto Caillaux,
César Cabezas Sánchez, Ruth Shady Solís,
Fernando Roca Alcázar, Mathieu Durand,
Eduardo Ismodes Cascón y Julio Kuroiwa Zevallos

Resumen

Después de recordar las obras de ingeniería y el saber hacer de los antiguos peruanos al asegurar el agua para sus ciudades, el capítulo presenta la situación de las aguas urbanas en el Perú contemporáneo. Hace hincapié sobre la Región Metropolitana de Lima-Callao que concentra un tercio de la población del país y cuenta todavía con alrededor de 11% de sus habitantes sin acceso al agua y 16% sin acceso al saneamiento. Se subraya las brechas existentes entre las periferias de pobreza y los centros, en acceso y continuidad al servicio y tarifas. Precisa las relaciones existentes entre las carencias en agua y saneamiento, las enfermedades hídricas y la calidad de vida. Adicionalmente, se estudia otros dos casos de ciudades: Cusco, la ciudad “ombbligo del mundo” con su grave deterioro del recurso y su vulnerabilidad ante riesgos de desastres, e Iquitos, la capital de la Amazonía peruana. Finalmente, se muestra cómo a pesar de ciertas fortalezas institucionales, el sector Agua y Saneamiento presenta todavía a la fecha graves problemas (inestabilidad política, ausencia de continuidad, escasos recursos humanos, entre otros) y requiere gestionar el agua de modo más sostenible como parte de una economía verde, proporcionando un acceso equitativo y de calidad a los servicios y recursos hídricos. De ahí, la importancia de iniciar un proceso de gestión integrada de aguas urbanas que combine correctamente las 5 “I” de la gestión (Integración, Inversión, Información, Instituciones e Infraestructura) para alcanzar y sostener la seguridad hídrica y, consecuentemente, la sostenibilidad urbana.

1. Introducción

Vigésimo país más grande del mundo con una superficie de 1 millón 285 mil km², el Perú ha conocido un importante crecimiento urbano en la segunda mitad del siglo XX. En la actualidad, de una población de 30 millones 814 mil 175 habitantes, 76% de la población vive en zonas urbanas y 24% en áreas rurales (INEI, 2014).

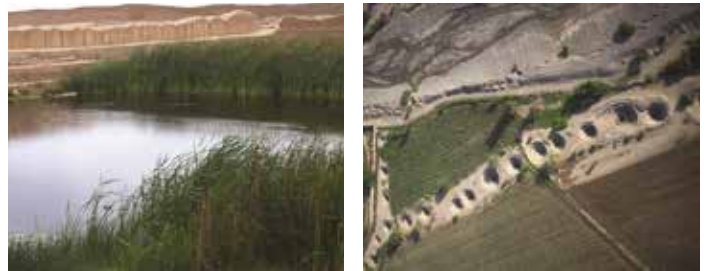
La relación entre el colectivo social, organizado por las autoridades de los “ayllus”, y el Estado, integrado por una jerarquía de “curacas”, se mantuvo como sistema social y político desde la civilización Caral hasta el fin del Imperio inca. A la tierra y al agua le hacían periódicas ceremonias, rituales y ofrendas, en agradecimiento por los beneficios que recibían de ellos como deidades que hacían posible la supervivencia y continuidad de su sistema social. En la faja costera excavaron en los arenales y acondicionaron “chacras hundidas” para aprovechar la humedad al interior del suelo. Mientras, en las zonas inundadas o de humedales, en unos casos construyeron campos elevados o “camellones”; en otros ambientes desecaron las tierras mediante zanjas o drenes y derivaron el agua a reservorios o “huachaques”.

En los valles implementaron campos de cultivo irrigados por un sistema de canales administrados por cuenca. Se respetaron las tierras productivas y se ubicaron los centros urbanos o viviendas en las terrazas eriazas y en espacios acondicionados en las laderas de los cerros. En el espacio andino accidentado y rocoso, de poca tierra productiva, acondicionaron

terrazas en las laderas o construyeron andenes en los declives accidentados, con su correspondiente sistema de canales de riego.

Un sistema avanzado en el manejo geohidrológico lo constituye la tecnología de “las amunas”, aplicado en valles de la costa central, de ríos con bajo caudal o de flujo temporal. Con éstas se solucionó el problema de la escasez del agua. El agua se “sembraba” en el territorio altoandino mediante la conducción de la misma desde las lagunas hasta lugares geológicamente permeables donde infiltraba para, luego, extraerla en manantiales o puquios,

Figura 2. Huachaque (izquierda) y puquios excavados (derecha).



Fotografías: Ruth Shady

Figura 1. Hacia los 5 mil años antes del presente, las poblaciones del valle de Supe en la costa nor-central del Perú ya habían logrado condiciones productivas, agrícolas y pesqueras; y una economía complementaria agro-pesquera sustentó la formación de la civilización Caral, la más antigua del continente americano (más de 5 mil años desde el presente) (Foto: R. Shady).

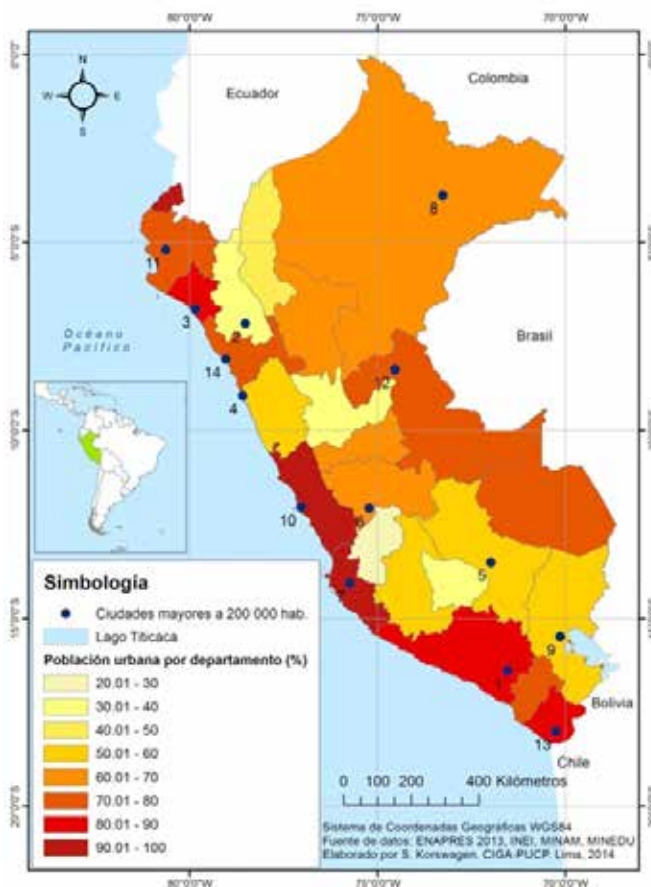


excavados a cada cierta distancia a lo largo de la cuenca. Tecnología similar fue aplicada en la costa sur mediante “galerías filtrantes”. Esta extraordinaria gestión del agua permitió el abastecimiento de las ciudadelas, cuya constante eran los depósitos y pozos de agua. Es así que el abastecimiento de agua en Chan Chan se realizó a través de más de 140 pozos (Tavera). Asimismo, si la zona donde se ubica Cajamarquilla es hoy completamente árida, es indudable que una urbe de las dimensiones de Cajamarquilla exigió un continuo y voluminoso abastecimiento de agua, tanto para el consumo diario como para la construcción de adobones, técnica preferida usada en las pirámides y recintos. Los estudios realizados

por Mogrovejo y Makowski (1999) concluyen que en cierta época el Río Huaycoloro trajo agua permanentemente, lo que demuestran al ubicar canales y reservorios en Cajamarquilla (Tavera).

Asimismo, al construir la ciudad de Machu Picchu (2 mil 440 msnm), los incas se enfrentaron a pendientes muy pronunciadas y escarpadas. Lograron tener acceso a agua al determinar la ubicación exacta de la fuente y si satisfacía anticipadamente las necesidades de la población. En una escarpada loma de la montaña hacia el norte de Machu Picchu, la fuente es alimentada por una cuenca hidrográfica tributaria de 16,3 hectáreas, que a su vez se abastecía del drenaje de una cuenca hidrogeológica mucho más grande (Wright, en Brown, 2001). Los mil habitantes de Machu Picchu tenían no solamente acceso al agua, sino también a un buen sistema de drenaje pluvial (Wright *et al.*, 1999).

Figura 3. Distribución de la población urbana en el Perú



Población urbana: 1. Arequipa, 862,807; 2. Cajamarca, 211,608; 3. Chiclayo, 588,995; 4. Chimbote, 364,599; 5. Cusco, 413,006; 6. Huancayo, 357,279; 7. Ica, 293,363; 8. Iquitos, 427,367; 9. Juliaca, 260,607; 10. Lima y Callao, 9,585,636; 11. Piura, 424,124; 12. Pucallpa, 211,611; 13. Tacna, 284,244 y 14. Trujillo, 776,873.

2. Fuentes de agua y accesibilidad

Aunque el Perú sea uno de los países más ricos en recursos hídricos, al poseer 4,6% del agua superficial planetaria, y tener una disponibilidad hídrica de 64 mil 376,54 m³/habitante/año, conoce severos problemas de distribución territorial de la población, inversa a la del recurso y a la par con una deficiente gestión hídrica.

La Tabla 1 indica que la vertiente del Pacífico representa 21,6% del territorio nacional, reagrupa 62,5% de la población y cuenta con escaso 1,76% de los recursos hídricos del país, mientras que la vertiente oriental (Amazonas) representa 74,5% del territorio, reagrupando solamente 33,3% de la población y gozando de 97,9% de los recursos hídricos. Esta situación se traduce en una disponibilidad de agua por habitante de gran desigualdad entre la vertiente del Pacífico (1 mil 851 m³/hab/año) y la del Amazonas (189 mil 167 m³/hab/año).

Asimismo, el país se caracteriza por un explosivo crecimiento urbano en las áreas de menor disponibilidad hídrica. Al darse este proceso en un contexto de precariedad de los poderes públicos ha sido ampliamente espontáneo e informal. La proporción de las poblaciones de las capitales latinoamericanas

que vive en viviendas de origen informal oscila a menudo en torno a 50% en 2000, y está estimada en 40% en Lima (Clichevsky, en Dureau *et al.*, 2006: 245, citado por Durand,¹ 2010: 11).

Los centros urbanos de mayor tamaño se presentan en la Figura 3. Actualmente, 46 ciudades tienen más de 50 mil habitantes y 14 ciudades más de 200 mil habitantes, ocho de ellas localizadas en la vertiente pacífica (Piura, Chiclayo, Trujillo, Chimbo-te, Lima, Ica, Arequipa y Tacna), una en la vertiente del Titicaca (Juliaca) y cinco en la vertiente amazónica, de las cuales tres en sierra (Cajamarca, Huancayo y Cusco) y 2 en selva (Iquitos y Pucallpa) (INEI, 2014).

Lima-Callao, la conurbación más grande del Perú, tiene aproximadamente 11 veces la población de Arequipa, la segunda ciudad más poblada del Perú. Las cinco ciudades de mayor población están ubicadas en la vertiente del Pacífico. La ciudad más grande de la vertiente amazónica es Iquitos, ubicada cerca del Río Amazonas.

1. Durand, Mathieu. *Gestion des déchets et inégalités environnementales et écologiques à Lima Entre vulnérabilité et durabilité*. Université Européenne de Bretagne Université de Rennes 2. Décembre 2010.

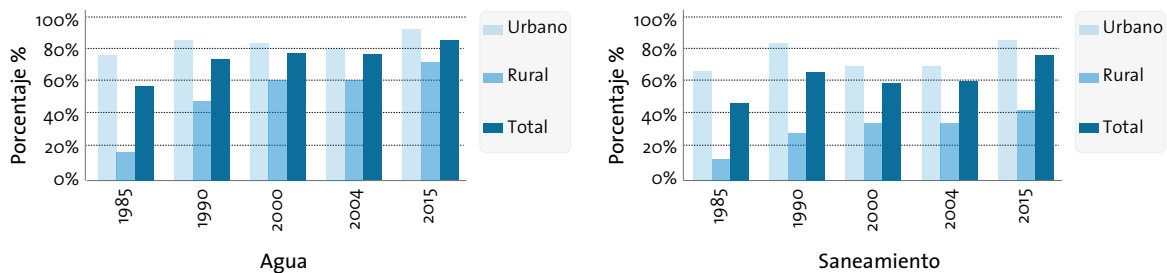
3. Servicios de agua potable y saneamiento

3.1 Servicios de agua potable y saneamiento en el Perú urbano

El Perú es uno de los 189 países que han firmado los Objetivos del Milenio. El cumplimiento de estos objetivos se ha convertido en Política de Estado. Uno de los programas más importantes del Gobierno peruano fue “Agua para Todos”, que fue presentado en el año 2006. En el lanzamiento oficial del programa se indicó la cobertura de agua potable histórica y la proyectada para el año 2015, según data el Servicio de Agua y Saneamiento del Banco Mundial (Figura 4).

La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) (2012) analizó los servicios de agua potable y saneamiento proporcionado por pequeñas, medianas y grandes Empresas Prestadoras de Servicios (EPS) de agua potable y saneamiento. Un caso especial es el del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL), el cual proporciona

Figura 4. Evolución de las coberturas de agua potable y saneamiento



Fuente: Para 1985: MVC 1986; para 1990: WHO y UNPF 2000; para 2000: MVCS 2000; para 2004: MVCS 2004, para 2015: WSP 2005, en Marmanillo, 2006.

Tabla 1. Distribución de los recursos hídricos en el territorio peruano

Región hidrográfica	Superficie		Población		Recursos hídricos		Ratios	
	10³km²	%	Habitantes	%	Hm³/año	%	Hm³/año/km²	M³/hab/año
Pacífico	278.48	21.67	18,801,417	62.53	34,136	1.76	0.12	1,815.61
Amazonas	957.82	74.53	10,018,789	33.32	1,895,226	97.91	1.98	189,167.18
Titicaca	48.91	3.81	1,246,975	4.15	6,259	0.32	0.13	5,019.35
Total	1,285.21	100	30,067,181	100	1,935,621	100	1.51	64,376.54

Fuente: ANA, 2013: 28.

servicios de agua y saneamiento a las regiones metropolitanas de Lima y Callao. Se considera que una EPS es pequeña cuando sirve menos de 15 mil hogares. Las EPS medianas proporcionan servicios a entre 15 mil 01 y 40 mil hogares. Las EPS grandes sirven a más de 40 mil hogares. A finales de 2012, la cobertura de agua potable de las EPS se encontraba en 91% y la cobertura de alcantarillado en 83% (Tabla 2). En lo que respecta a la continuidad del servicio se encontraba en 18,43 horas/día. La información proporcionada en las tablas 2 y 3 se basa en datos recolectados en el año 2011 por SUNASS (2012).

Los volúmenes totales y porcentajes de aguas servidas tratadas y no tratadas se muestran en la Tabla 3. Una gran cantidad de aguas servidas no son tratadas. En la mayoría de casos, el agua es entregada a los cursos y cuerpos de agua, contaminando el ambiente de esta manera (Tabla 4).

El porcentaje de cobertura de agua potable y alcantarillado según EPS a cargo de estos servicios se presenta a continuación para las principales ciudades del Perú (Tabla 5). A finales de 2012, el tratamiento de aguas residuales a nivel nacional era de 32%, no presentando mayor variación respecto de los años anteriores. Esta situación ha cambiado a partir de abril de 2013 en que entró en operación la planta

de tratamiento de aguas residuales de Taboada (SEDAPAL), que incrementó actualmente el tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Lima de 21 a cerca de 60%.

En lo que se refiere a micromedición y agua no facturada, ambos indicadores presentan mejoras: la micromedición se incrementó a 63% y el agua no facturada se redujo a 37%. La Tabla 6 indica el porcentaje de micromedición y el agua no contabilizada según EPS a cargo en las principales áreas metropolitanas del país.

Es necesario enfatizar que a pesar de que la conurbación Lima-Callao es la región de mayor población del Perú, sólo 13,3% de las aguas servidas eran tratadas en el año 2007; 21% en 2010. La entrada en operación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Taboada (SEDAPAL) incrementó el tratamiento de aguas residuales a cerca de 60% (SUNASS, 2013:6). Las aguas no tratadas son arrojadas al Océano Pacífico, al Río Rímac o al río Chillón, contaminando los recursos hídricos continentales y oceánicos y las zonas ribereñas.

A pesar de estos esfuerzos centrados en Lima, debe reconocerse que una de las principales deficiencias de los servicios sanitarios en el Perú radica en la ausencia de tratamiento de la mayoría de aguas

Tabla 2. Cobertura de agua potable, alcantarillado y tiempo de instalación de conexión domiciliaria por tamaño de proveedor, 2012

Tipo de proveedor de AP y A	Población urbana servida (2012)			
	Población Total	% Cobertura de Agua	% Cobertura de Alcantarillado	Instalación conexión domiciliaria (días hábiles)
SEDAPAL	9,256,885	94.59	89.86	15
Grande	6,512,192	89.04	77.43	15
Mediano	2,030,107	83.47	72.47	38
Pequeño	805,669	80.81	66.20	18
Total	18,604,853	91.00	82.72	16

Fuente: SUNASS, 2012

Tabla 3. Volumen de aguas residuales producidas y tratados por tamaño de proveedor de agua potable y alcantarillado

Tipo de proveedor de AP y A	Volumen Total (MMC)	Volumen tratado (m³)	Porcentaje (%)
SEDAPAL	428.48	88.48	20.6
Grande	252.83	145.27	57.5
Mediano	82.56	18.84	22.8
Pequeño	34.68	8.33	24.0
Total	798.54	260.92	32.7

Fuente: SUNASS, 2012.

residuales. Los métodos de tratamiento de aguas residuales son muy variables en el Perú debido a un amplio rango de climas y condiciones geográficas. SUNASS (2008) ha señalado que las plantas de tratamiento de agua potable y alcantarillado no son

adecuadamente operadas o no se le proporciona un mantenimiento adecuado. Muy pocos proyectos se pueden considerar exitosos. Las principales causas del déficit en el tratamiento de aguas residuales y la ineficiencia en las plantas de tratamiento se dan

Tabla 4. Volúmenes de aguas residuales, con tratamiento, sin tratamiento y totales

Aguas servidas (residuales) producidas por servicios de saneamiento	Volumen por año (MMC/año)	Caudal equivalente (m ³ /s)	% de Tratamiento
Con Tratamiento	217.25	6.89	29.10
Sin Tratamiento	530.03	16.81	70.90
Total	747.28	23.70	100.00

Fuente: SUNASS, 2012.

Tabla 5. Cobertura de agua potable y alcantarillado en las principales ciudades servidas por EPS, 2013

Regiones geográficas	Ciudad	EPS	Población total urbana	Cobertura agua potable (%)	Cobertura de alcantarillado (%)
Costa	Chiclayo y otros	EPSEL S.A.	866,509	89.4%	80.8%
	Piura y otros	EPS GRAU S.A.	1,049,547	89.3%	75.1%
	Trujillo y otros	SEDALIB S.A.	943,942	85.3%	79.9%
	Tumbes	AGUAS DE TUMBES S.A.	202,250	80.2%	51.2%
	Chimbote y otros	SEDACHIMBOTE S.A.	399,469	99.0%	96.4%
	Lima Metropolitana y Callao	SEDAPAL S.A.	9,354,380	96.3%	91.5%
	Ica y otros	EMAPICA S.A.	204,496	91.0%	83.3%
	Tacna y otros	EPS TACNA S.A.	271,448	97.1%	95.4%
Sierra	Huancayo y otros	SEDAM HUANCAYO S.A.	368,683	78.8%	72.6%
	Huánuco	SEDA HUANUCO S.A.	232,335	82.9%	77.5%
	Arequipa y otros	SEDAPAR S.A.	1,046,867	93.4%	81.2%
	Cusco y otros	SEDACUSCO S.A.	393,325	98.2%	96.0%
	Huamanga y otros	EPSASA	224,340	93.4%	82.3%
	Juliacca	SEDAJULIACA S.A.	250,188	82.0%	83.2%
Selva	Iquitos	EPS SEDALORETO S.A.	476,041	93.0%	53.9%
	Pucallpa	EMAPACOP S.A.	221,805	61.3%	62.3%

Fuente: Elaboración Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento para esta publicación; reagrupada por regiones por la autora.

Tabla 6. Número de conexiones, tratamiento de aguas residuales, micromediciones y agua no contabilizada en las áreas metropolitanas, 2007

Área Metropolitana	Número de Conexiones	% de Aguas Residuales tratadas	% de Micro-mediciones	% de Agua no contabilizada	Empresa Proveedora de Servicios (EPS)
Lima-Callao	1,194,879	13.3	70.1	37.5	SEDAPAL S.A.
Arequipa	201,144	16.1	64.2	35.9	SEDAPAR S.A.
Trujillo	135,883	80.1	37.7	45.7	SEDALIB
Chiclayo	133,767	89.2	9.3	41.6	EPSEL
Piura	163,824	50.6	19.9	55.9	EPS Grau
Iquitos	56,684	0.0	23.7	57.9	SEDALORETO S.A.
Cusco	57,497	75.4	78.2	46.0	SEDACUSCO S.A.

Fuente: SUNASS, 2013.

a continuación: (i) Insuficiente investigación y desarrollo tecnológico, (ii) Falta de coordinación entre las instituciones del área de saneamiento, (iii) Insufi-

cientes recursos para operación y mantenimiento de plantas de tratamiento, y (iv) Deficiencia en la financiación de tratamiento de aguas servidas.

Figuras 5 y 6. Población urbana servida con agua potable y saneamiento a nivel departamental

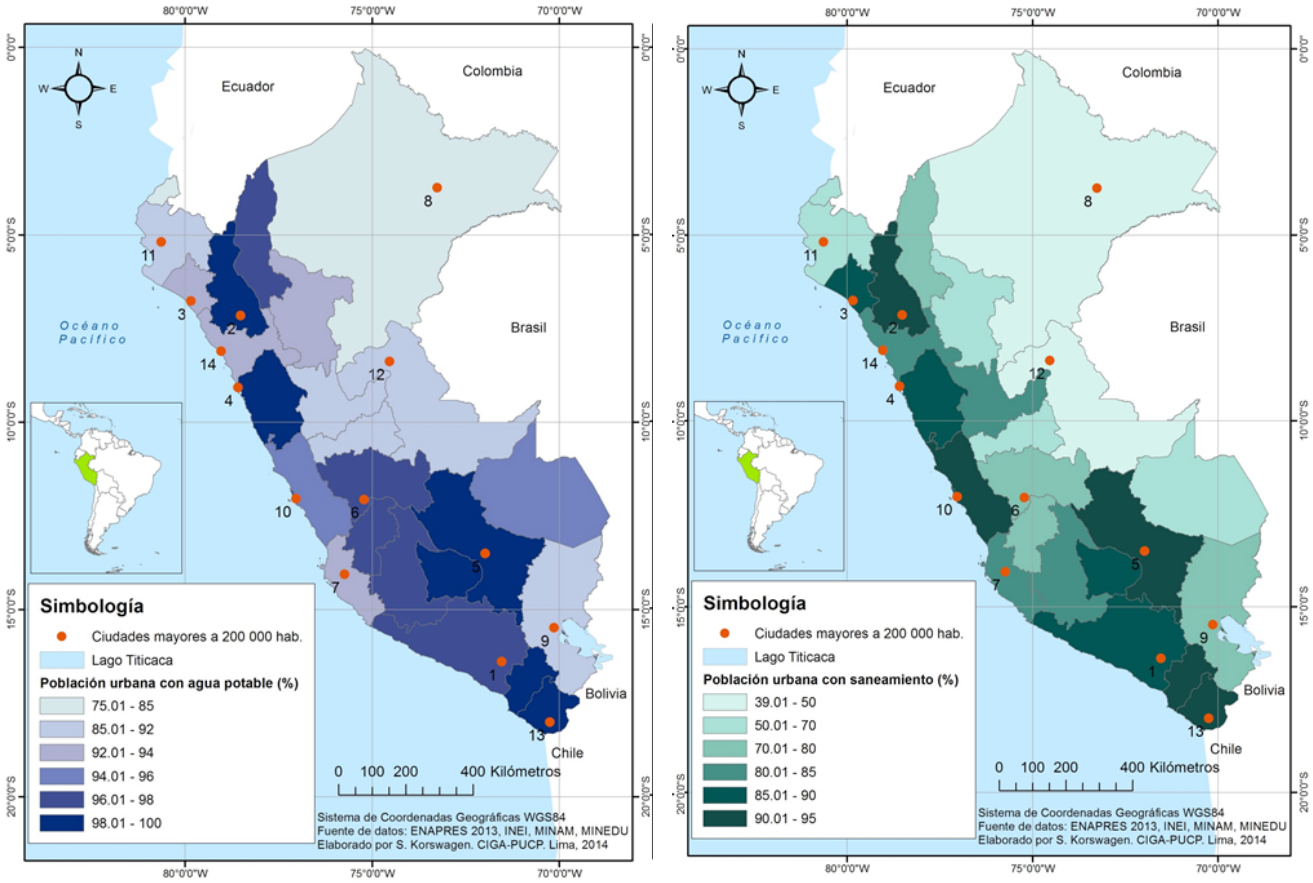
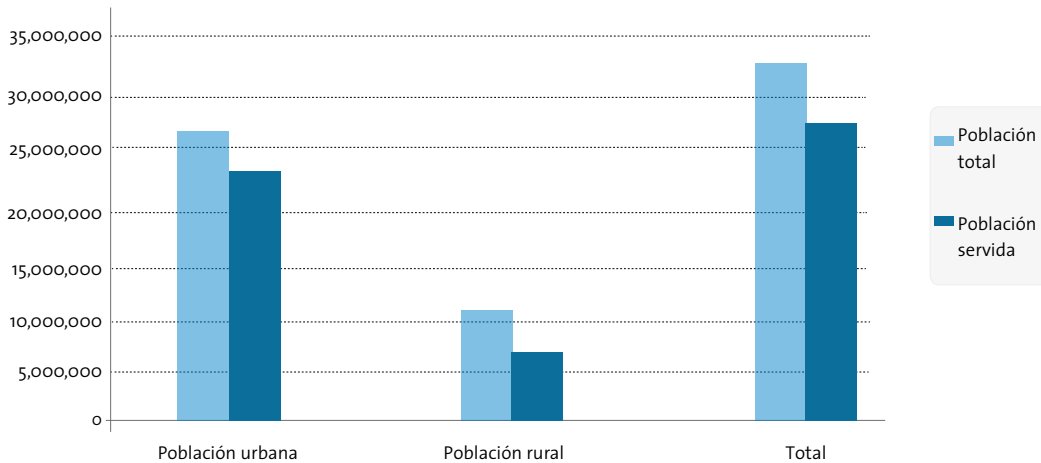


Figura 7. Desigualdad urbana-rural en el acceso al agua, 2013



Fuente: Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2014.

Se estimó que al año 2007 la inversión total para lograr los Objetivos del Milenio al año 2015 sería de US\$ 4 mil 42 millones de dólares americanos. Las inversiones anuales serían de aproximadamente US\$ 550 millones.

Las figuras 5 y 6 muestran la cobertura de agua potable y alcantarillado en el territorio peruano. Se puede apreciar que la cobertura de agua es mayor en las ciudades costeras, donde se concentra la mayor población. La Región Metropolitana Lima-Callao tiene la cobertura más alta. En general, las menores coberturas de agua se dan en algunas zonas de la Sierra y la Selva.

Así como se observan grandes desigualdades de cobertura entre regiones, se pueden destacar brechas importantes entre poblaciones rurales y urbanas, tal como lo muestra la Figura 7.

Tarifa del agua

El precio por metro cúbico del agua potable se presenta debajo en la Tabla 7. Muestra el precio del SEDAPAL y de los proveedores de agua potable y saneamiento en moneda local y en dólares americanos del año 2011. Se ha empleado un tipo de cambio de 2,76 nuevos soles por dólar. En general, los precios se mantuvieron bajos porque la cobertura del tratamiento de aguas residuales se mantuvo baja hasta 2011. Los precios son más altos en la Región Metropolitana Lima-Callao debido a que el tratamiento del agua es caro a causa de la alta carga de contaminantes del Río Rímac.

Mantener tarifas que no incluyan criterios de sostenibilidad constituye un incentivo perverso al usuario, pues tenderá a usar más agua debido a su bajo costo. Asimismo, la inexistencia de tarifas que incrementen su precio de manera exponencial por arriba del consumo familiar básico, incentiva a que familias de mayores recursos utilicen agua de manera desproporcionada con las necesidades básicas (Sociedad de Urbanistas del Perú, 2011).

3.2 Agua potable y saneamiento en la Región Metropolitana Lima-Callao

La Región Metropolitana Lima-Callao (RMLC) está formada por la Región Lima Metropolitana (RML) y la Región Callao (RC). La RML está constituida por 43 distritos mayormente urbanos, con una población total de 8,48 millones a 2012 (INEI, 2012). La RC, ubicada

al oeste de Lima y que colinda con el Océano Pacífico, está compuesta de seis distritos cuya población total es de 0,97 millones. Ambas regiones concentran 9,45 millones de habitantes. La tasa de nacimientos ha disminuido notablemente, teniendo las mujeres urbanas unos 2 hijos/hijas en promedio. Sin embargo, la migración hacia las ciudades sigue alta, lo que aumenta en forma considerable la tasa de crecimiento en las zonas urbanas. La Tabla 8 muestra y compara el crecimiento de RML y del Perú entre 1940 y 2007.

Tres ríos cruzan la RMLC. Son de Norte a Sur el Chillón, el Rímac y el Lurín (Figura 8). Las principales características de las tres cuencas, tales como área total de la cuenca, longitud del cauce principal, altitudes máximas y mínimas, pendiente media y descargas medias se presentan en la Tabla 9.

Estas tres cuencas constituyen las principales fuentes de agua para la RMLC a partir de la extracción de las aguas superficiales y subterráneas, además de la recolección del agua de niebla en algunas periferias urbanas de pobres. El agua de mar no está aprovechada.

Tabla 7. Precio de servicios de agua potable y alcantarillado por m³ a 2011

Tipo de proveedor de AP y A	Precio por m ³ (S./m ³)	Precio por m ³
SEDAPAL	2.41	0.87
Grande	1.66	0.6
Mediano	1.24	0.45
Pequeño	1.03	0.37
Total	2.01	0.73

Fuente: SUNASS, 2011.

Tabla 8. Crecimiento poblacional en la RML y el Perú

Año	Lima		Perú	
	Población (miles de habitantes)	Tasa de Crecimiento Anual (%)	Población (miles de habitantes)	Tasa de Crecimiento Anual (%)
1940	645	-	6,208	-
1961	1,845	5.1	9,907	2.3
1972	3,303	5.4	13,538	2.9
1981	4,608	3.8	17,005	2.6
1993	6,345	2.7	22,048	2.2
2007	8,482	2.1	27,412	1.6

Fuente: INEI: 2007.

Tabla 9. Principales características de ríos que fluyen a través de la RMLC

Cuenca	Área (km ²)	Longitud (km)	Altitud Máxima (msnm)	Altitud Mínima (msnm)	Pendiente media	Average flow (m ³ /s)
(%)	Caudal medio (m ³ /s)	126	4,850	0	3.85	8.74
Rímac	3,504	127	5,100	0	4.02	29.00
Lurín	1,670	109	5,300	0	4.86	4.27

Fuente: ANA, 2013.

Figura 8. Los ríos Chillón, Rímac y Lurín y la RMLC

Fuente: Municipalidad Metropolitana de Lima, 2001.

El Río Rímac es la principal fuente de agua dulce para la RMLC. Se toma agua del Río Chillón a una tasa de 2 m³/s durante la estación de lluvias y 1 m³/s en la estación de estiaje. No se extrae agua del Río Lurín para el servicio de agua potable de Lima. La mayor parte del agua se emplea para usos agrícolas.

Para complementar los volúmenes de agua necesarios para cubrir la demanda de RMLC, se transfiere agua de la cuenca Alta del Río Mantaro hacia la vertiente del Pacífico. El proyecto Marcapomacocha consiste de almacenar agua en las lagunas existentes en la vertiente amazónica. Se han construido presas de cierre en estas lagunas para aumentar su capacidad de almacenamiento. El agua se almacena durante la estación de lluvias en las lagunas. Un sistema de canales transporta el agua a lagunas repre-

Tabla 10. Extracción de agua subterránea en la RMLC, 2000- 2011.

Año	Producción (MMC)	Caudal Medio (m ³ /s)
2000	190.32	6.02
2001	176.61	5.58
2002	163.62	5.17
2003	127.37	4.03
2004	174.48	5.52
2005	151.34	4.79
2006	139.33	4.41
2007	105.56	3.34
2008	133.36	4.22
2009	108.44	3.43
2010	118.37	3.74
2011	115.80	3.66

Fuente: SEDAPAL, 2005, 2009 y 2012.

sadas y luego se transfieren a la vertiente del Pacífico mediante el Túnel Transandino, transportando agua a la cuenca alta del Río Rímac o el Río Chillón.

La extracción de agua subterránea era aproximadamente de 3,6 m³/s en la RMLC en 2011 (INEI, 2012). La tasa de extracción ha disminuido notablemente debido al cierre de pozos ocasionado por la contaminación del recurso hídrico subterráneo. Ya no se emplean galerías de filtración en Lima. La evolución de la extracción de agua subterránea en Lima en MMC por año y la descarga equivalente se presentan a continuación en la Tabla 10. Conjuntamente con 452 pozos del SEDAPAL, de los cuales 284 son operativos, se tiene más de mil 100 pozos explotados por los sectores estatal, industrial y agrícola e incontables pozos informales (SEDAPAL, 2012).

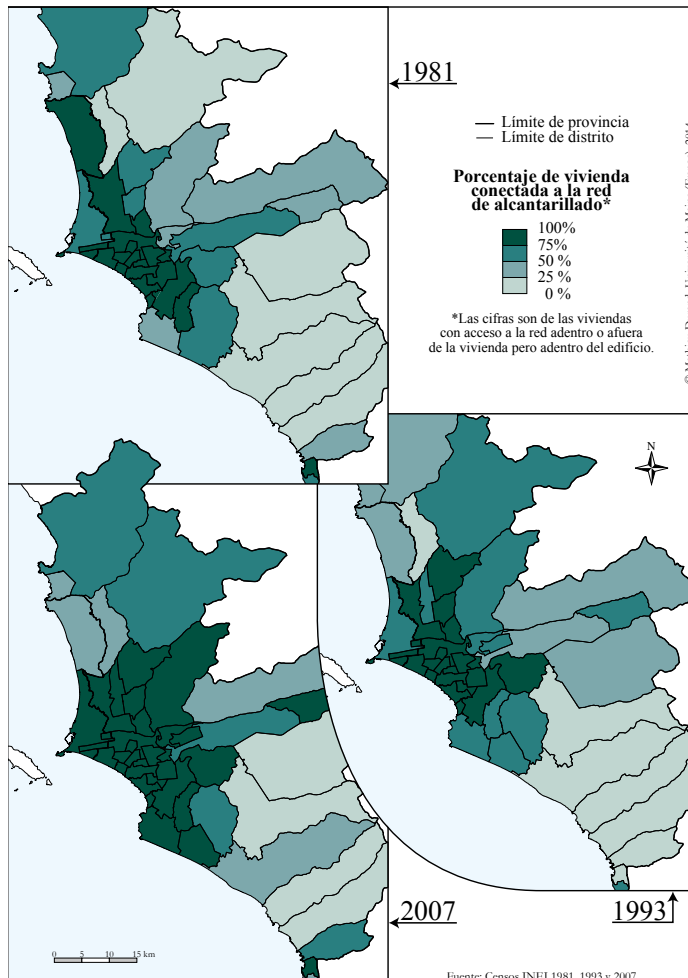
Lima produce un promedio anual de 544 millones de m³ de aguas servidas, es decir, unos 17 m³/s con picos de 24 m³/s (SEDAPAL, 2005 Vol.2: 49; DIGESA, 2008: 5), lo que representa un promedio de 170 litros (0,17 m³) por persona/día. La producción de agua potable llega a 23,1 m³/s, o sea, más de 730 millones de m³ anuales (SEDAPAL, 2009: 15). De ahí, 692 millones están producidos por el SEDAPAL, y 38 millones por sistemas de abastecimiento alternativos (pozos, camiones cisternas, etcétera). El consumo promedio de agua potable por persona y día está comprendido entre 229 y 250 l., cuando en muchas capitales europeas varía entre 150 y 190 l. (SEDAPAL, 2009: 4). Este alto consumo de agua significa una producción elevada de aguas servidas.

Figura 9. Canal evacuando aguas servidas en barrios no conectados con las redes de alcantarillado, Huachipa 2009



Foto: Mathieu Durand.

Figura 10. Tasas de acceso al saneamiento en RMLC en 1981, 1993 y 2007



Fuente: Durand, M., 2010.

Estudios del SEDAPAL indican las brechas existentes entre el consumo de agua de los grupos sociales acomodados (entre 330 y 460 l./hab./día) y los grupos pobres (entre 103 y 145 l./hab./día). Las poblaciones de extrema pobreza no figuran en la clasificación por no tener acceso al agua. Suele su consumo ser inferior a 30 l./hab./día (Figura 9).

La evolución del índice de acceso a las redes (Figura 10) indica que en 1981 el centro de la ciudad estaba desde hace tiempo bien conectado a la red de saneamiento (más de 75%), mientras que las periferias más populares tenían un índice de acceso inferior a 75%, y, en el mejor de los casos, a 50%.

La fase siguiente (1993), caracterizada por el censo de 1993, muestra que las primeras periferias están en vías de consolidación. Finalmente, en la última fase (últimos 12 años) se incorporan progresivamente las grandes periferias, es decir, los barrios de urbanización informal, continuando su proceso de consolidación las periferias más antiguas como El Callao, El Agustino, Chorrillos, etcétera.

El Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL) es la empresa que proporciona servicios de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales en RMLC. Esta empresa pertenece al Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, que depende directamente del Gobierno Central.

La planta de tratamiento de agua, La Atarjea, está ubicada en la margen izquierda del Río Rímac. Esta planta empezó a operar en 1956 con una capacidad inicial de 5 m³/s, siendo la planta de tratamiento con mayor capacidad en el mundo en el tiempo que terminó su construcción (SEDAPAL, 2013). A 2010, el SEDAPAL derivaba entre 15 y 19 m³/s a la Planta de La Atarjea para abastecer de agua a Lima. Durante la estación seca (mayo-noviembre), el caudal medio anual es aproximadamente de 23,5 m³/s. Se ha estimado que el caudal ecológico es de 1,5 m³/s (Yepes, 2002). La planta de agua de la Atarjea procesa aproximadamente 20 m³/s y prácticamente capta todo el caudal disponible durante la temporada de estiaje. La disponibilidad de agua en la cuenca del Río Rímac es aproximadamente de 148,6 m³/hab./año y en la cuenca del Río Chillón es aproximadamente de 202,2 m³/hab./año en el año 2005, muy por debajo del umbral de 1 mil m³/hab./año que define el estado de escasez de recursos hídricos (Salazar, 2005). Desde el año 1876, presas de albañilería de piedra y de concreto se fueron construyendo con fines energéticos

y agrícolas y, a partir de mediados del siglo XX, para mejorar el abastecimiento de agua potable de la Gran Lima. Además de Marca I, la ampliación de Marca II (construcción de un túnel de 10 Km, ampliación de la capacidad de las presas Huallacocha Bajo y Pomacocha), Marca III como sistema de almacenamiento y reservas (Lagunas Santa Eulalia, represas Yuracmayo y Antacoto) y la construcción de Marca IV (Huasca-cocha-Rímac) permitirán un flujo adicional de 2,5 a 3 m³/s en promedio.

En el año 2011 se terminó de construir la nueva planta de tratamiento de agua, Huachipa, aguas arriba de la planta La Atarjea. Esto permite transportar por gravedad agua a sectores que no se podían abastecer de la misma manera desde La Atarjea. La capacidad total de tratamiento de agua es 10 m³/s, aunque en la actualidad sólo capta 5 m³/s. Se espera que opere a plena capacidad cuando se completen los proyectos Marcapomacocha. El SEDAPAL ha invertido aproximadamente US\$ 461 millones en el proyecto el cual proporcionará servicio de agua potable y alcantarillado a 2,5 millones de habitantes en el sector norte de la RMLC.

El Consorcio Aqua Azul S.A., una asociación privada compuesta por inversionistas peruanos y extranjeros, ganó una concesión bajo la modalidad Construcción, Operación y Transferencia (Build, Operation, Transfer-BOT) para construir una planta de tratamiento de agua que tome aproximadamente 2 m³/s de agua del Río Chillón durante la temporada húmeda y 1 m³/s durante la temporada de estiaje. Este río está muy contaminado.

El Río Rímac es uno de los cursos de agua más contaminados en el Perú. Los tramos están clasificados como Tipo II o Tipo III. Los límites máximos permisibles del Perú y la Organización Mundial de la Salud (OMS) son excedidos en varios sectores del río. En la cuenca existen presas de relave antiguas, minas y plantas de procesamiento que han contribuido a la contaminación de metales pesados, principalmente arsénico, cadmio, cobre y zinc, entre otros (Méndez, 2005). En la cuenca también hay contaminación por aguas residuales domésticas, porque hay varios pueblos y ciudades pequeñas que descargan los efluentes hacia el río sin ningún tratamiento. En la cuenca media, pueblos y ciudades como Surco (1 mil 798 habitantes), Matucana (4 mil 508 hab.) y Chosica (169 mil 359 hab.) descargan las aguas residuales sin tratamiento al Río Rímac. El distrito de Santa Eulalia,

cuya población es de 10 mil 591 habitantes, descarga aguas sin tratamiento previo sobre el río del mismo nombre que es un afluente del Rímac. Las actividades agrícolas también contribuyen a la contaminación debido a que los fertilizantes e insecticidas son lavados cuando se riegan las tierras de esta cuenca. Se han detectado metales pesados, coliformes fecales y otros contaminantes a lo largo de los sectores medios y bajos del río.

La Tabla 11 muestra las concentraciones de metales pesados en la toma de La Atarjea. Las concentraciones máximas de metales pesados exceden los

límites máximos permisibles de las clases II y III de cursos de agua de la Ley General de Aguas (D.L. N°17752).

Se puede comparar los parámetros de las clases II y III con los de la OMS. Los parámetros fueron medidos en 2002.

La ocupación ilegal de tierras agrava los problemas de abastecimiento y saneamiento. En la ciudad de Lima ha habido ocupaciones ilegales de tierras desde los años 1950. Al principio, los pobladores ocupaban los cerros que rodean Lima como se muestra en la Figura 11. Años después empezaron a ocupar la

Figura 11. Abastecimiento de agua en una zona agreste en la periferia de Lima (La Atarjea, 2012)



Foto: Julio Kuroiwa, 2013.

Tabla 11. Parámetros medidos en la bocanoma de la Planta La Atarjea y en los reservorios

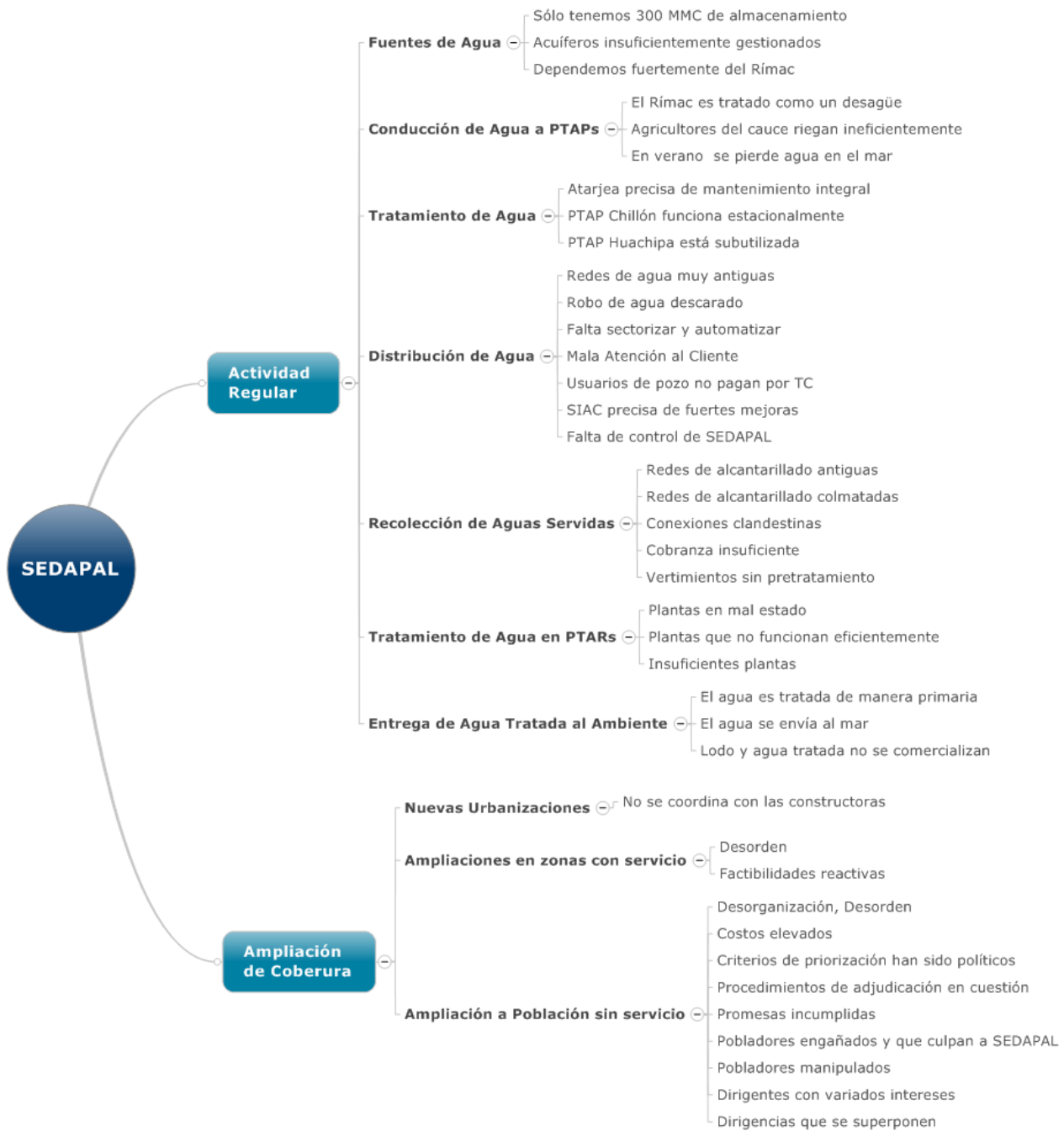
Parámetros Físico-Químicos	Río Rímac			Agua en Reservorio	Ley General de Aguas		
	Máximo (mg/L)	Mínimo (mg/L)	Promedio (mg/L)		Clase II (mg/L)	Clase III (mg/L)	Estándares de calidad de agua potable OMS (mg/L)
Hierro Fe+3	50.600	0.269	6.991	0.199	0.300	1.000	-
Manganeso Mn+2	1.143	0.023	0.207	0.055	0.100	0.200	0.400
Plomo Pb+2	0.379	0.009	0.089	0.016	0.050	0.100	0.010
Cadmio Cd+3	0.010	0.001	0.004	0.003	0.010	0.050	0.003
Aluminio Al+3	2.256	0.160	3.695	0.112	-	-	0.100
Arsénico As+3	1.101	0.035	0.392	0.048	0.100	0.200	0.010

Fuente: SEDAPAL, 2005.

periferia de la ciudad, tomando campos agrícolas y terrenos eriazos. Existen problemas legales debido a que si la propiedad no está inscrita en los registros públicos, no se puede firmar contratos con los ocu-

pantes. En algunos casos es difícil y costoso entregar agua a los asentamientos humanos marginales ubicados en los cerros debido a que es necesario bombear agua cuesta arriba. Además de los altos costos

Tabla 12. Problemas destacados en el SEDAPAL, 2013



Fuente: Ismodes, 2013.

iniciales, los costos de operación y mantenimiento son exorbitantes. Aproximadamente 984 mil 727 habitantes no tenían acceso al agua potable al año 2011.

Se espera que la población de Lima continúe creciendo a una tasa alta debido a migración del interior del país. Por este motivo se espera que la disponibilidad del agua per cápita continúe disminuyendo.

Los recursos de agua dulce se están agotando y se requerirá nuevas fuentes para cubrir las demandas futuras. Se ha considerado el transvase de otras cuencas y la desalinización de agua de mar entre otras alternativas.

También se han identificado problemas con el sistema de distribución de agua. El agua no contabilizada es aproximadamente 37,5% de la que produce el SEDAPAL. Aproximadamente 29,9 % de los hogares que reciben este servicio no cuenta con medidores. Se necesita, además, realizar trabajos adicionales para poder contabilizar e identificar las pérdidas en el sistema y optimizar los procesos de abastecimiento de agua.

Numerosos son los impactos ambientales, cambios geomorfológicos inducidos por las acciones antropogénicas en el tramo urbano del Río Rímac. Martínez y Martínez (2004) y Kuroiwa *et al.* (2011) describen y señalan las causas que condujeron a la formación de un cañón urbano en Lima (Figura 12). El cauce del Río Rímac se profundizó aproximadamente 20 m aguas abajo del Puente del Ejército, que fue construido en 1936. La instalación de un puente metálico prefabricado condujo a la reducción del ancho del cauce. Esto ocasionó la incisión del cauce al aumentar las solicitaciones en el fondo del río. Las antiguas planicies de inundación fueron ocupadas en forma ilegal por pobladores que viven en constante peligro ante la amenaza de derrumbes. Kuroiwa y Valle (2014) indican que la formación del cañón urbano ocasionó la desaparición del camarón de río *Chryphios Caementarius* (Molina, 1872). Varias estructuras ubicadas aguas abajo del Puente del Ejército, como el Puente Dueñas, fueron afectadas. Kuroiwa *et al.* (2004) describen una solución temporal que contribuyó a estabilizar el Puente Dueñas. Sin embargo, esta solución temporal se hizo permanente debido a que la obra de control de erosión se ha comportado de manera satisfactoria desde el verano de 2002 hasta la fecha, y a que no se han pro-

puesto soluciones definitivas por parte de la Municipalidad Metropolitana de Lima (MML).

Por abastecer a la ciudad de Lima y Callao, con más de 1,1 millones de conexiones de agua potable e igual cantidad de conexiones de alcantarillado, el SEDAPAL –empresa monopólica de gestión estatal– debe enfrentar numerosos problemas destacados en la Tabla 12, y revertirlos recuperando sus costos de explotación (operacionales), logrando reposición del capital más expansión del servicio (inversión). Persisten problemas como la renovación de redes, un mejor tratamiento de aguas residuales, una gran pérdida por no facturación (34,58% hasta 2011) y pérdida de agua por roturas de redes muy antiguas (Prialé, 2012).

La diversidad de problemas implicó en los años 2011-2012 una revisión de la gestión de la empresa y la puesta en marcha de un programa de grandes inversiones en ampliación, optimización del servicio de agua y alcantarillado, y rehabilitación y mejoramiento de redes (periodo 2013-2016), a partir de 148 proyectos cuyo monto total es de 8 millones 443 mil 500 soles y beneficia a 1,9 millones de personas. Se trata de Proyectos de Ampliación de la Cobertura al 100% (Figura 13) de Proyectos de Rehabilitación (Figura 14) y de Proyectos de Diversificación de Fuentes (Figura 15). Respecto de los Proyectos de Ampliación de la Cobertura al 100%, el gran reto es lograr el acceso universal a partir de 81 proyectos cuya inversión asciende a S/. 5 millones 631 mil 732,00.

Los Proyectos de Rehabilitación ascienden a 67 con una inversión aproximada de S/. 2 millones 812 mil.

Finalmente, los proyectos de diversificación de fuentes deben asegurar el abastecimiento de la primera población metropolitana del país, a partir del tratamiento y reúso de sus aguas (Figura 15).

3.3 Agua potable y saneamiento en la ciudad del Cusco

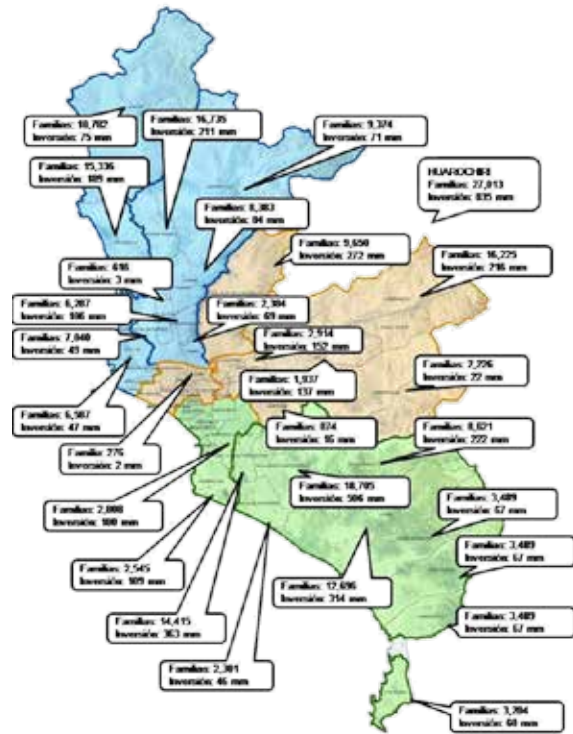
Cusco es la capital de la Región Cusco y el antiguo centro político del Imperio incaico. Las principales atracciones del Perú se encuentran en esta región. La altitud de la ciudad del Cusco es 3 mil 399 msnm. Se estima que la población actual es aproximadamente de 410 mil habitantes. Estudios realizados en el Río medio y bajo Huatanay indican que 100% del abastecimiento de agua para las poblaciones del Valle Sur

Figura 12. Cañón urbano formado por la degradación del cauce del Río Rímac aguas abajo del Puente del Ejército



Fuente: Luis Castro Inga, 2010.

Figura 13. Proyectos de ampliación de la cobertura al 100%



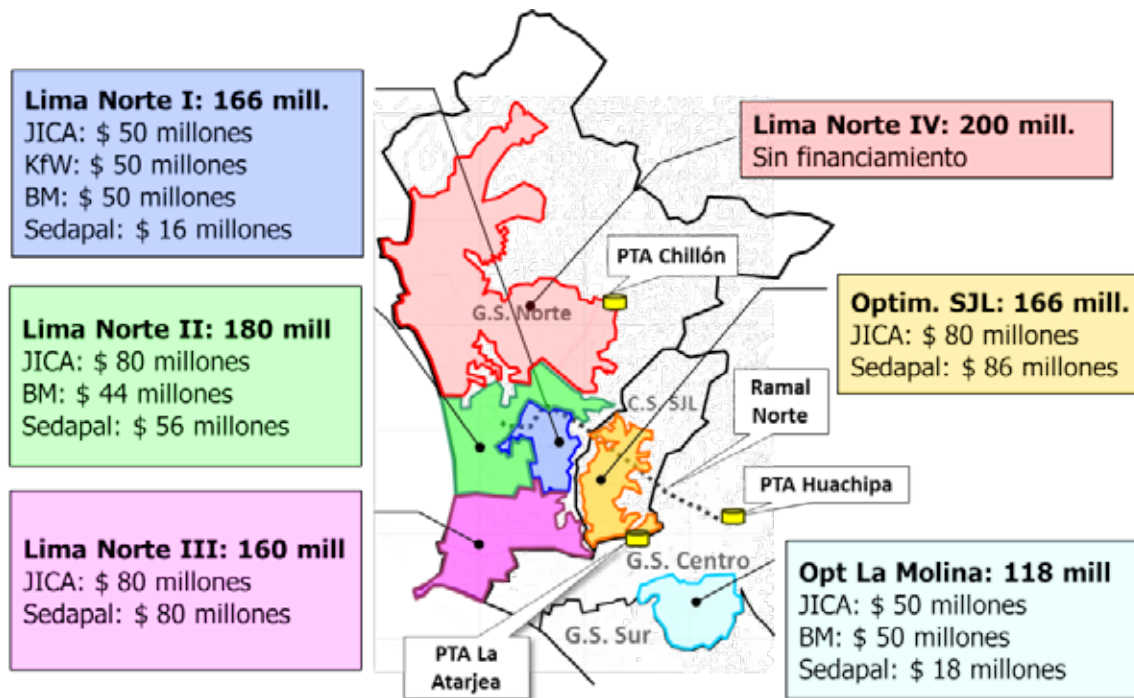
Fuente: Ismodes, 2013.

Figura 14. Proyectos de rehabilitación



Fuente: Ismodes, 2013.

Figura 15. Proyecto de diversificación de fuentes



Fuente: Ismodes, 2013.

del Cusco proceden de aguas subterráneas, constituyéndose en la única fuente de captación y requiriendo políticas de recarga artificial de los acuíferos para mantener y mejorar los niveles de producción de los manantes. Asimismo, si bien es cierto que 98,19% de la población del Valle Sur cuenta con un sistema de abastecimiento de agua, del total sólo 17,01% tiene agua potable, 82,99% cuenta con agua entubada y 1,81% no tiene servicio, requiriendo que se realicen mayores controles por parte del Ministerio de Salud (MINSA) en cuanto a la calidad del agua en los sistemas de abastecimiento. Por lo que se refiere al sistema de evacuación de aguas servidas y alcantarillado, en los distritos de San Jerónimo, Saylla, Oropesa y Lucre es administrado directamente por las municipalidades distritales, y tanto el servicio como el mantenimiento de las redes es deficitario (Bernex, 2005).

Tal como lo señalan Bernex *et al.* (2005), la calidad de las aguas del Río Huatanay en los últimos años ha desmejorado considerablemente, en vista de que cada vez se carga mayor cantidad de contaminantes, hecho que convierte sus aguas en no aptas para cualquier uso. La primera señal de esta condi-

ción es su color oscuro y los olores que desprende especialmente en horas de la tarde. Mendívil Riveros *et al.* (2002) indicaban que los principales problemas del Río Huatanay eran las inundaciones debido a estrechamiento del cauce en varios puntos de la ciudad y la contaminación por vertimientos de aguas residuales sin tratamiento, lo que se reflejaba en el alto número de coliformes fecales, y por arrojo de basura al cauce (Figura 16).

La principal fuente de abastecimiento del Cusco es la cuenca del Río Huatanay, el cual está muy contaminado debido al vertimiento directo de aguas industriales y domésticas. En la cuenca media y baja del Río Huatanay la calidad del agua es mala y no debería ser usada para ningún propósito (CEC Guamán Poma de Ayala, 2004).

La empresa encargada del abastecimiento de agua en la ciudad del Cusco es SEDACUSCO, S.A., cuyo directorio está formado por el alcalde metropolitano de la ciudad del Cusco y los alcaldes distritales. En febrero de 2014, con una inversión total de S/102 millones, se inauguró una moderna Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) que tratará 80% de los

residuos que produce la Ciudad Imperial y la provincia del Cusco, beneficiando a 330 mil usuarios. La obra garantizará el riego limpio de productos de panllevar y otros. La tecnología es de última generación e integra un sistema de eliminación total de olores.

3.4 Agua potable y saneamiento en la ciudad de Iquitos

Capital de la Amazonía peruana, Iquitos está ubicado en la margen izquierda del Río Itaya, afluente del río Amazonas, a una altitud de 106 msnm. Es un área tropical con un promedio anual de precipitación superior a 2 mil mm/año. El agua para consumo humano es captada en el Río Nanay, un tributario del Río Amazonas.

La EPS local es SEDALORETO, S.A, empresa que pertenece al municipio de Iquitos. Sus funciones son: captación, producción y distribución de agua potable; recolección y disposición del alcantarillado; y disposición sanitaria de excretas.

El barrio de Belén se encuentra en la margen izquierda del Río Itaya. Se han construido casas de madera de dos pisos que se construyen sobre pilotes de madera por encima de los máximos niveles de inundación. Durante la estación de lluvias, los habitantes de estas viviendas ocupan sólo el nivel superior.

Sin embargo, el desagüe es dificultoso debido a restricciones en la ubicación. El desagüe doméstico es vertido desde cada vivienda sin tratamiento al Río Itaya, lo que contamina este importante curso de agua (Figura 17). El déficit de saneamiento para una población de 41 mil 392 habitantes que ocupan 7 mil 827 viviendas fue de 73,8% en el área urbana durante el año 2007 (INEI, 2010).

La Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) ha prestado ayuda para mejorar los servicios de saneamiento en Iquitos. En agosto de 2010 empezaron las obras de los proyectos “Ampliación y Mejoramiento del Sistema de Agua Potable de la ciudad de Iquitos” y “Mejoramiento y Ampliación del Sistema de Alcantarillado e Instalación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Iquitos”. Las inversiones esperadas fueron de US\$ 210 millones y los beneficiarios estimados fueron 50 mil. Los objetivos consistían en que 80% de la población de Iquitos tuviera acceso al agua por 20 horas diarias con un consumo medio de 180 L/habitante/día (JICA, 2010).

3.5 Tratamiento y reúso del agua

La información actual sobre la producción municipal de aguas servidas a nivel nacional corresponde a la producción de aguas residuales domésticas o municipales, y son reportadas por las EPS. El volumen anual a nivel nacional promedio (2009-2011) de aguas residuales domésticas es de 798 millones 539 mil 655 m³, de los cuales sólo 260 millones 916 mil 866 m³ son tratados. La Figura 18 precisa el manejo actual en la RMLC.

Hacia el año 2010, 428 millones de metros cúbicos de agua residual, equivalentes a 80,4% del total, eran vertidos sin tratamiento. El agua contaminada ingresaba directamente al Océano Pacífico a través de dos colectores o al Río Rímac, el cual finalmente conduce los efluentes al océano, lo que contaminaba

Figura 16. Descarga de desmontes en el Huatanay (San Juan de Dios, San Jerónimo, Cusco)



Foto: Centro Guamán Poma de Ayala, 2005.

Figura 17. Iquitos, cloacas en el Barrio de Belén



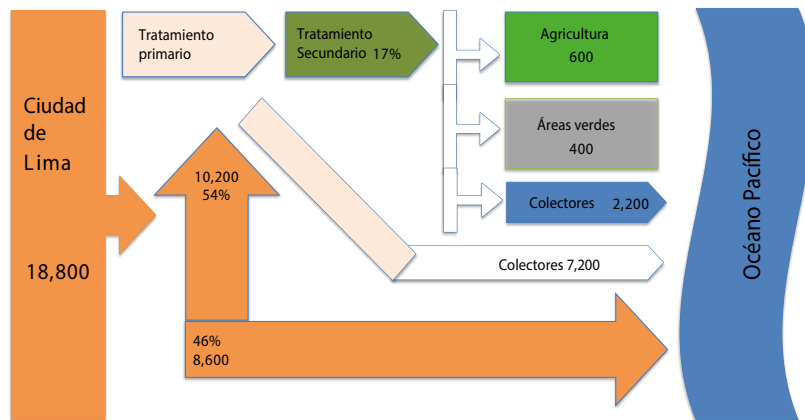
Foto: Nicole Bernex, 2013.

el litoral costero. Se empleaban dos colectores para transportar las aguas residuales al mar: Costanera (2,26 m³/s) y La Chira (8 m³/s). Recientemente, la empresa española ACS Servicios, Comunicaciones y Energía terminó de construir la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Taboada y está empezando a operar. La capacidad media proyectada de esta planta es de aproximadamente 14 m³/s (equivalente a 442 MMC/año) con caudales pico de 20,3 m³/s. Este caudal representa 72 % de todo el flujo del desagüe. Además, la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales La Chira empezó en junio de 2013 (El Comercio, 2013). La capacidad media proyectada de esta planta es de 6,3 m³/s con una capacidad pico de 11,3 m³/s cuando se termine de construir en enero de 2015. Se espera que a inicios del año 2015, la cobertura de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales llegue a 100% en RMLC.

Debido al bajo porcentaje de aguas residuales tratadas, el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento aprobó el “Plan Nacional de Saneamiento 2006-2015”, en el cual contempla que para el año 2015 se logrará una cobertura de tratamiento de efluentes domésticos de 100%. Además se vienen implementando los Lineamientos de Política para la promoción de tratamiento para el reúso de las aguas residuales domésticas y municipales en el riego de áreas verdes urbanas y periurbanas, en el marco de un comité multisectorial.

No obstante esta difícil situación, existen casos exitosos. Es así que el Colegio de la Inmaculada, fundado en 1878 y perteneciendo a la congregación religiosa católica de la Compañía de Jesús, tuvo que trasladarse en 1966 empujado por el crecimiento de Lima, hacia el Sur, en una zona árida y eriaza. Es allí donde en 1995 se decidió desarrollar el Proyecto Eco-

Figura 18. Manejo actual de las aguas residuales en Lima Metropolitana (l/s)



Fuente: Julio Moscoso Cavallini, 2011.

Figuras 19 y 20. Lagunas de oxidación y áreas verdes irrigadas con aguas tratadas del Colegio de La Inmaculada, Lima



Fotos: Fernando Roca, 2013.

lógico que incluye el tratamiento de aguas residuales con lagunas de oxidación, a fin de solucionar el problema del agua para el riego de jardines y campos deportivos, y disminuir los costos de mantenimiento de las 30 hectáreas de terreno del colegio.

El mecanismo con el que funciona este sistema de reciclaje es bastante preciso y sencillo: las aguas residuales se colectan en horas de la madrugada del desagüe de Santiago de Surco; pasan por un sistema de rejillas que la filtran, captando los desechos sólidos; después, son enviadas a las lagunas de oxidación construidas en la ladera del cerro colindante al colegio. Cuando aquéllas llegan a las lagunas, las bacterias (hongos, protozoos) de las aguas servidas interactúan con millones de microalgas, lo que produce oxígeno (oxidación), el cual al disolverse en las aguas activa las bacterias, desintegrando toda materia orgánica. En la desintegración se produce anhídrido carbónico y materia inorgánica, elementos que son necesarios para que las microalgas produzcan carbohidratos. Así se completa el ciclo a través de una cadena de transformaciones, en las que la materia del reino animal se descompone y pasa al reino vegetal. Este proceso permite que diariamente se libere agua con la pureza necesaria para utilizarse en el riego de los jardines y campos deportivos del colegio (Figuras 19 y 20).

El principal logro es que los alumnos aprenden, a través del ejemplo diario, que es posible convertir el desierto en bosque. Además de ahorrar agua potable a la comunidad, el proyecto contribuye a disminuir la cantidad de agua residual que va al mar. A todo ello se agrega un importante ahorro de dinero. Como parte de este proyecto se tiene también el zoológico, los programas de reforestación y lombricultura que se complementan con el manejo de residuos sólidos en el colegio y la venta de parte de la producción agrícola con la pequeña tienda de Huertos de la Inmaculada (cf. www.ci.edu.pe).

4. Enfermedades hídricas

Las enfermedades producidas por agua contaminada no sólo afectan la salud pública, sino que están asociadas a una pérdida en los ingresos debido a pérdidas de productividad y absentismo. Las mejoras en el acceso al agua potable y el saneamiento son costo efectivas. Se estima que en las regiones en desarro-

llo, por cada US\$ 1 que se invierte en agua y saneamiento se ganan entre US\$ 5 y 46. El agua potable y el saneamiento también están relacionados con el derecho a la educación. El hecho de no poder ejercer el “derecho de acceso al agua potable” puede impedir que los niños asistan a la escuela y que las mujeres deban recorrer distancias enormes, a menudo varias veces al día, para recoger agua para la familia. Las principales enfermedades causadas por ingestión de agua contaminada con excrementos humanos/ animales que contienen microorganismos patógenos o agua contaminada con sustancias químicas” son infecciosas, tóxicas e indirectamente relacionadas (Tabla 13).

El Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú (INEI) (2009) halló una relación entre la falta de servicios de agua potable y alcantarillado y la tasa de mortalidad infantil. La tasa de mortalidad infantil es 15,2 por mil nacimientos para los casos en que los hogares cuentan con servicios de agua potable proporcionados por la red pública, y es 24,3 por mil nacimientos cuando la fuente es diferente. Se encontró un resultado similar cuando se analizó el alcantarillado. La tasa de mortalidad es 13,2 muertes por mil nacimientos cuando el servicio es proporcionado por la red pública. La mortalidad aumenta a 24,3 por mil nacimientos cuando no se cuenta con el servicio de la red pública (Tabla 14).

5. El agua y el fuego

Los incendios urbanos de origen antrópico ocurren muy a menudo en todas las ciudades del país y con mayor frecuencia y amplitud en Lima. Son causados, principalmente, “por fallas en las instalaciones eléctricas, fugas de gas, manejo inadecuado de materiales inflamables, velas encendidas, mantenimiento deficiente de tanques contenedores de gas, entre otras” (INDECI, 2013).

La Figura 21 indica un incremento significativo en el número de incendios urbanos registrados por el Instituto Nacional de Defensa Civil del Perú (INDECI) a nivel nacional desde el año 1995 hasta 2002. La tendencia al crecimiento comenzó a partir de 2000, siendo 2005 el año con la cifra más alta, con 1 mil 962 casos. De 73 casos de incendios urbanos en 1995, pasaron a registrarse 1 mil 48 en 2013; esto representa un incremento de 1 mil 435%.

Tabla 13. Clasificación de las enfermedades hídricas

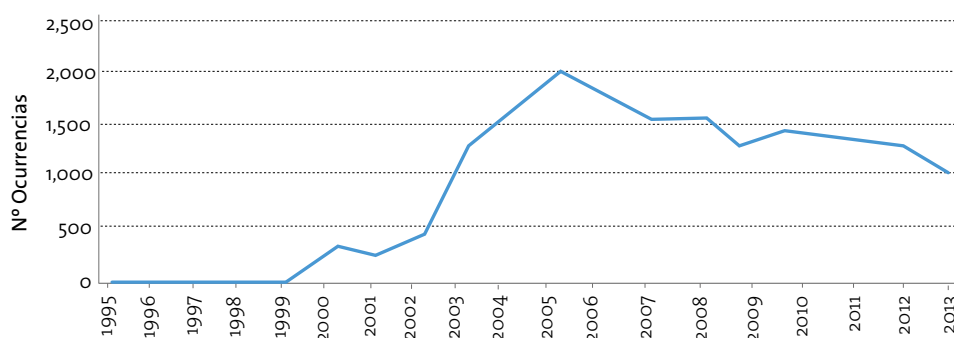
Portado en agua	Contaminación fecal	Cólera, tifoidea, organismos entéricos
Basado en agua	Organismos que pasan parte de su ciclo en el agua	Fasciolosis, paragonimiosis
Relacionado con agua	Vectores que se reproducen en el agua	Malaria, dengue
Lavadas por agua	Relacionadas a pobre higiene personal y a contacto con agua contaminada	Pediculosis, rickettsiosis
Difundidos por agua	Organismos que proliferan en el agua y entran por el tracto respiratorio	Legionella
Water-dispersed	Organisms that proliferate in water and enter via the respiratory tract	Legionella

Fuente: Cabezas, 2013.

Tabla 14. Relación entre tasa de mortalidad infantil y tipo de servicio

Parámetro	Mujeres en edad fértil	Porcentaje (%)	Tasa de mortalidad infantil (por mil)
Abastecimiento de Agua			
Red Pública	5,159,230	68.2	15.2
Otra	2,405,554	31.8	24.3
Alcantarillado			
Red Pública	4,893,925	64.7	13.2
Otra	2,671,859	35.3	24.3

Fuente: INEI, 2009.

Figura 21. Evolución temporal en la ocurrencia de incendios urbanos a nivel nacional para el periodo 1995-2013

*Es cifra preliminar.

Fuentes: 1995-2002: INDECI, 2003, 265 pp.; 2003-2013: INDECI, Cuadros Estadísticos, Serie cronológica de emergencias a nivel nacional según fenómeno. <<http://www.indeci.gob.pe/objetos/secciones/MTM=/NTM=/lista/NDco/201403041217091.pdf>>

Un factor clave para hacer frente a los incendios es la disponibilidad del recurso agua, el cual evita que el fuego se extienda y propague a áreas vecinas. Para controlar los incendios del día a día, los bomberos deben enfrentar, entre sus diversas dificultades, la falta de hidrantes, la lejanía a la que se encuentran estos del área de emergencia y, de haber hidrantes, la inoperatividad de éstos (Espacio 360, 2013). En Lima y Callao existen 17 mil 10 hidrantes, los cuales no

son suficientes para cubrir las emergencias de todo el territorio limeño. La ciudad ha crecido ocupando áreas consideradas como no aptas para ser habitadas, como son las laderas de los cerros. Se dieron importantes cambios en los usos de suelo; se multiplicaron mercados, zonas comerciales, industriales y de servicios. Todos estos lugares son vulnerables ante un siniestro. Es importante recordar las 29 personas muertas en el incendio de la discoteca Utopía ubica-

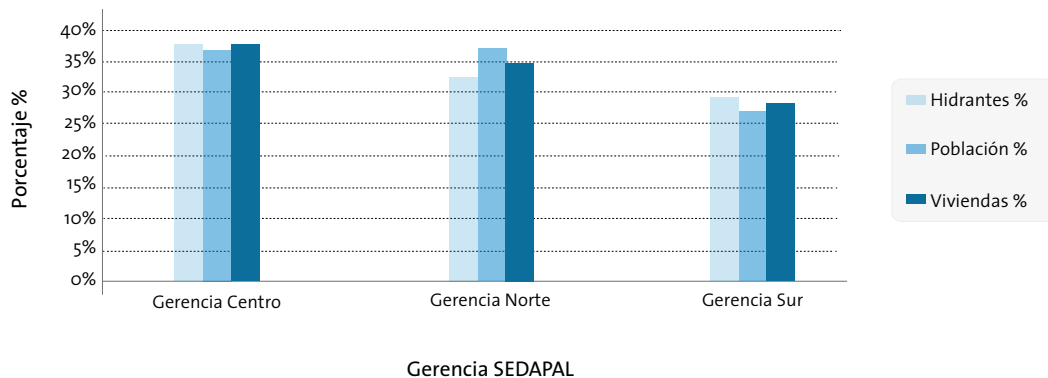
da en el elegante centro comercial Jockey Plaza en 2001 y las 277 personas muertas y 180 desaparecidas en Mesa Redonda, en un área comercial turgurizada del centro de Lima. En la mayoría de los casos, la falta de hidrantes dificulta la labor de los bomberos, así como las dificultades de acceso por el hacinamiento de la zona. Además, es importante subrayar la falta de operatividad de los hidrantes existentes, cuyo mantenimiento debe ser asegurado por el SEDAPAL. El Cuerpo General de Bomberos Voluntarios del Perú informa cuando detecta algún hidrante en mal estado. A pesar de continuos informes de los bomberos, la entidad estatal “no lleva un registro detallado sobre cuántos hidrantes han sido reportados como malogrados o en mal estado”. (Espacio 360, 2013).

Además de los problemas técnicos, el SEDAPAL y los bomberos deben lidiar con otra dificultad relacionada a los hidrantes, más ligada al tema social. Existen los robos de sus piezas y hasta la manipulación para hacer su uso indebido. Lo dicho es el mayor problema al que se enfrenta el SEDAPAL, según el gerente de Desarrollo e Investigación de esta empresa, Juan Carlos Barandiarán Rojas; por ejemplo, “sólo en el Cercado de Lima, entre enero y diciembre del año pasado [2012], hallaron 13 hidrantes que habían sido forzados por delincuentes y personas que roban agua”, y esta situación se repite en distritos como Breña, Pueblo Libre, Magdalena, Ate y San Miguel (Correo, 2013). Este tema es más sobre responsabilidad y respeto hacia el trabajo que realizan los bomberos, así como de educación y concientización sobre lo que representan los hidrantes en el control de incendios.

El SEDAPAL intenta responder a estos desafíos y, para eso, ha desarrollado una aplicación para celulares *smartphone* cuyo objetivo es disminuir el tiempo que les toma a las unidades de bomberos encontrar el grifo de agua más cercano al lugar donde se está produciendo un incendio. Con esta herramienta, los bomberos ubican de forma rápida y en tiempo real los hidrantes accesibles a 500 metros a la redonda. Además, ahora ambas instituciones tienen una mejor comunicación entre ellas, lo que les permite tener conocimiento en simultáneo del estado de la emergencia (El Comercio, 2013), así como poder avisar al SEDAPAL para que abra los troncales (Correo, 2013). Constituyen un problema recurrente los incendios de viviendas de material rústico, como maderas, esteras, plásticos y pajas, los cuales son altamente inflamables. Asimismo, es frecuente que en estas viviendas con puertas cerradas por los padres que se van a trabajar, se quedan niños solos, quienes en ciertos casos logran salvarse, aunque con heridas y quemaduras; en otros, pierden la vida. Repetidamente hay que hacer frente a los incendios en asentamientos humanos precarios, ya que algunos no cuentan con vías de acceso, lo que hace difícil el ingreso de las unidades de bomberos, y tampoco cuentan con servicios de distribución de agua, elemento esencial para combatir el fuego.

La Figura 22 indica las ventajas comparativas entre las tres gerencias de la RMLC. Indudablemente la Región Sur (la Lima más antigua y consolidada) tiene más hidrantes en proporción a las demás gerencias.

Figura 22. Comparación de los porcentajes de hidrantes, población y viviendas entre las tres gerencias del SEDAPAL en Lima Metropolitana y Callao



Fuente: Elaboración propia.

6. Cambio climático y riesgos de desastres urbanos

Numerosos estudios mencionan el calentamiento global, el cual por causa del incremento de los gases de efecto invernadero está originando el derretimiento de los glaciares en los Andes tropicales y motivando la disminución del caudal de los ríos de origen glaciar. Esta disminución reduce la disponibilidad del agua dulce –la principal fuente para el consumo de la población– para las actividades agrícolas y generación de energía hidroeléctrica, entre otros usos, y produce la escasez del agua. Esta escasez se agrava aún más por el rápido crecimiento de la población dando lugar a una crisis social (Lagos, 2013; Magrin *et al.*, 2007; MINAM, 2010; Sadoff *et al.*, 2010).

El estudio sobre la vulnerabilidad de las ciudades frente al cambio climático en agua potable y saneamiento, realizado por la Sociedad de Urbanistas del Perú en 2011, pone especial atención en la vulnerabilidad de las Empresas Prestadoras de Servicio (EPS), en el marco de un país de enormes contrastes y de una importante heterogeneidad en los efectos del cambio climático (Figura 23). La ocurrencia de los

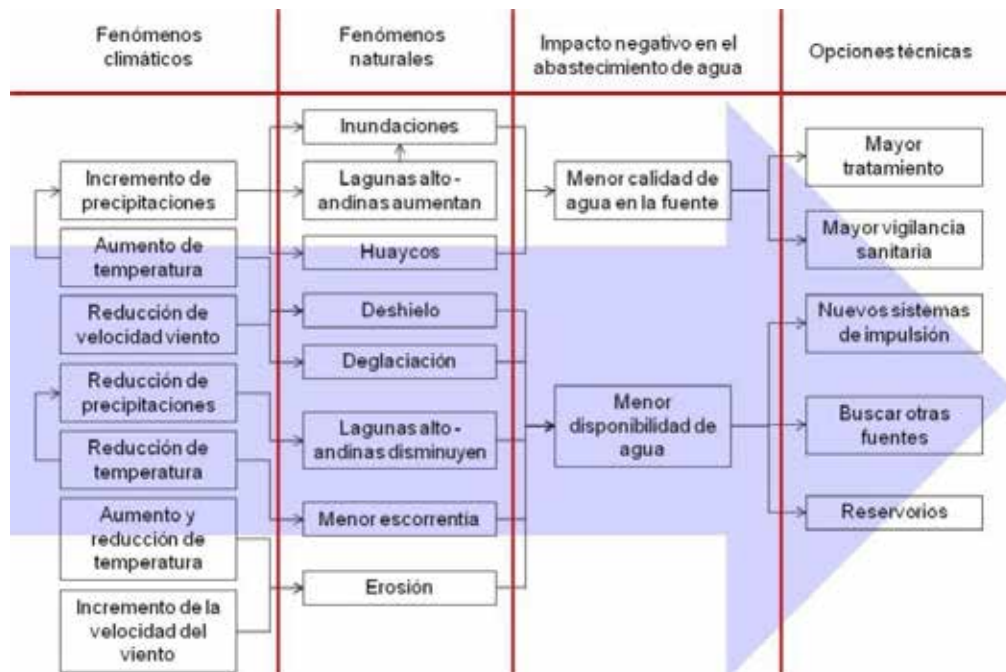
fenómenos naturales genera un impacto negativo en el abastecimiento de agua, tanto i) Menor calidad de agua en la fuente, como ii) Menor disponibilidad de agua.

Acorde al análisis y ponderación efectuado por la SUNARP, las 3 EPS más vulnerables al Cambio Climático del Perú son la EPS Chavín, la EPS del Utcubamba y Bagua Grande (EPSSMU SRL) y la de Chiclayo (EPSEL).

El hielo de la Cordillera Blanca tiene tendencia a desaparecer a corto plazo. Eso significa que entre los próximos 3 y 15 años pueden ocurrir cambios climáticos drásticos que pongan en riesgo el acceso al agua potable. Debe subrayarse la vulnerabilidad de las redes ante eventos extremos, aluviones e inundaciones.

Los tres ejemplos siguientes permiten ilustrar esta situación. Son el caso de Cusco ante precipitaciones excepcionales, como en febrero de 2010, cuando las lluvias dejaron pérdidas por 680 millones de soles y afectaron a más de 35 mil cusqueños; el caso del Chicón, glaciar peligroso que amenaza la ciudad turística de Urubamba; y el caso de Iquitos, durante la gran inundación de 2012.

Figura 23. Modelo del impacto del cambio climático en el abastecimiento de agua



Fuente: Sociedad de Urbanistas del Perú, 2011.

6.1. Cusco, la ciudad y sus riesgos

Ubicada en la cuenca alta del Río Huatanay, en los Andes sudorientales del Perú, a 3 mil 399 metros sobre el nivel del mar, la ciudad del Cusco, Capital Arqueológica de América, es la séptima ciudad más importante del país con 420 mil 137 habitantes en 2014. Migraciones continuas del campo crearon una periferia de asentamientos marginales, muchos de los cuales están emplazados en zonas de peligro geológico. Igualmente, la faja marginal de los ríos y el cauce de los riachuelos fueron ocupados, sin considerar los periodos de lluvias máximas que podían afectarlas. En consecuencia, el rápido crecimiento de la población y la consiguiente expansión urbana ha incrementado la exposición al peligro, lo que se traduce en desastres cada año en época de lluvias, en especial en el año 2010, debido a lluvias que fueron las más intensas de los últimos 50 años.

La ciudad del Cusco y el valle del Huatanay están sometidos a una serie de procesos de geodinámica externa, donde el agua juega un papel preponderante. A ello se suman otros factores como la existencia de planicies o terrazas, laderas pronunciadas, vertientes escarpadas y composición litológica variada. Estas condiciones aunadas a la explosión urbana, determinan una ciudad en riesgo de geodinámica externa, donde resaltan las inundaciones, los deslizamientos y los aluviones.

A título de ejemplo, por efecto de las intensas lluvias, en las laderas de las vertientes se reactivan deslizamientos o se crean nuevos, principalmente

donde los terrenos son de mala calidad. Estos deslizamientos, a su vez, pueden ocasionar, en los cauces de los riachuelos, represamientos, desembalses y en consecuencia aluviones, como los ocurridos en Huamancharpo o la quebrada Saphy, siendo esta última de peligro muy alto para el centro histórico de la ciudad.

Ante un crecimiento urbano explosivo y desordenado, caracterizado por la ocupación de zonas de laderas inestables, así como quebradas y bordes de ríos con riesgo de inundaciones, aluviones y deslizamientos, la Asociación de Municipalidades y el Centro Guamán Poma de Ayala elaboraron el mapa de peligros para facilitar una adecuada gestión del riesgo (Figura 24).

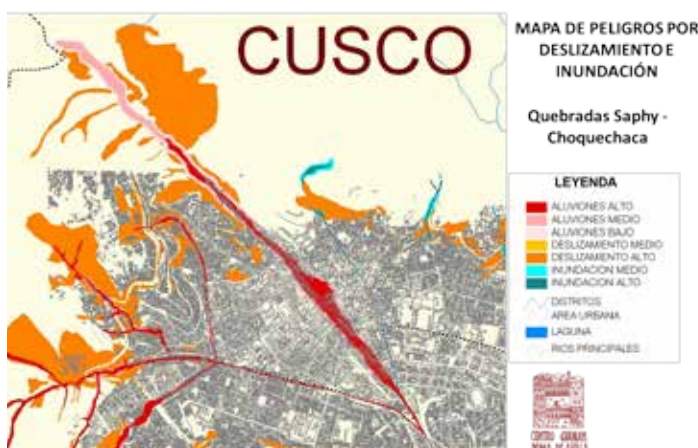
6.2 El cambio climático. Los glaciares peligrosos y las ciudades, caso del nevado Chicón y de la ciudad de Urubamba

En el corazón del Valle Sagrado de los Incas, a 2 mil 900 msnm, la ciudad de Urubamba, con 10 mil 741 habitantes (2014), está ubicada en medio de varios centros arqueológicos (Machu Picchu, Pisac, Moray, Cusco) y al pie del nevado del Chicón. Goza de un clima y paisajes excepcionales, que junto con su ubicación, hacen de ella una de las ciudades más atractivas y el núcleo de importantes servicios turísticos.

La ciudad de Urubamba está situada en la margen derecha del Río Vilcanota, levantada sobre dos conos aluviales de las quebradas Chicón y Pumahuanca. El valle del Río Urubamba separa las altiplanicies situadas al sur de la cordillera situada al norte. En esta cordillera, cuyas altitudes sobrepasan los 5 mil 300 msnm, está emplazado el nevado del Chicón. De este nevado nacen dos quebradas importantes, Chicón y Pumahuanca, donde se han producido numerosos aluviones y que en su desembocadura en el Río Vilcanota han formado sus conos aluviales. El registro histórico muestra que el Palacio de Wayna Capac, que incluye el complejo de andenes agrícolas de Quespihuanca, está construido sobre estos aluviones antiguos en el cono aluvial de Chicón. Por otro lado, aluviones antiguos de la quebrada vecina de Pumahuanca cubren material deslizado del cerro Yahuarmaqui que represó el Río Vilcanota el año 1678. En tiempos recientes destacan los aluviones ocurridos en la quebrada Chicón en los años 1942 y 2010.

El nevado Chicón tiene aproximadamente 5 km de largo en la dirección NO-SE, con un ancho prome-

Figura 24. Mapa de riesgos geodinámicos en el Sector Suroeste de Cusco



Fuente: Carlotto, Victor *et al.*, 2010.

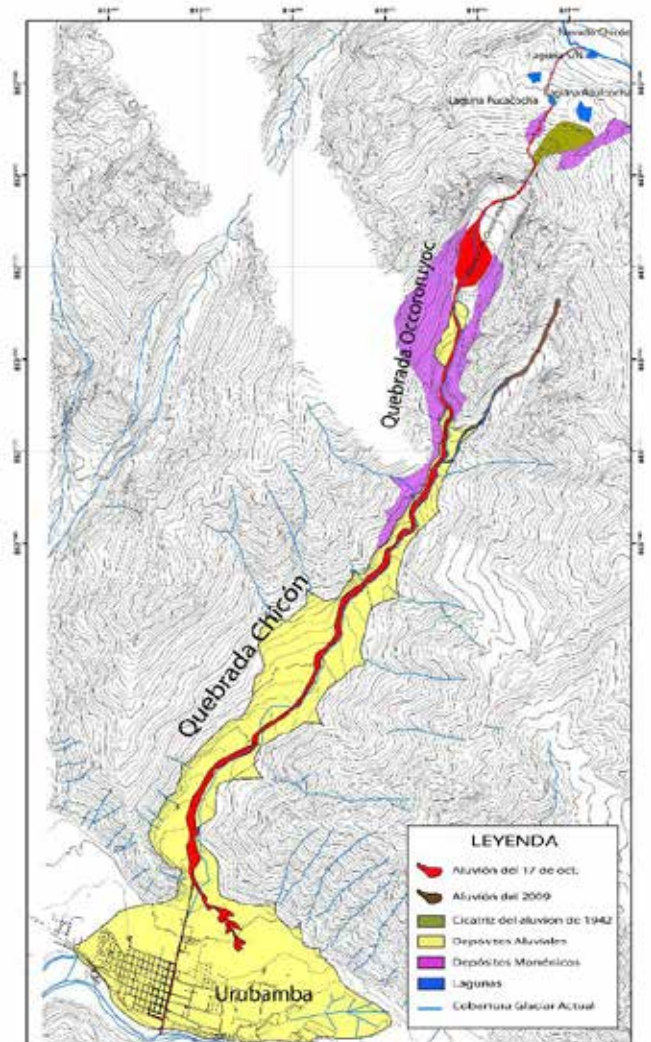
dio menor a 1 km. Este nevado muestra fuertes evidencias de retroceso glaciar –desde al menos 1963– a un promedio de 20-25 m cada 10 años, aunque en los últimos años ha sido de casi 50 m. Los retrocesos se dan con desprendimiento de bloques de hielo de los bordes del nevado. Éstos, al caer a las lagunas cercanas, producen desbordes y provocan aluviones como los de 1942 y del 17 de octubre de 2010, que afectaron la ciudad de Urubamba. Si bien es cierto que el aluvión de 1942 fue de grandes dimensiones por comparación a 2010, en ambos casos más de 80% del material aluviónico quedó atrapado en una cubeta o depresión natural denominada planicie de Occororuyoc, y sólo una parte menor llegó a la ciudad. En 2010 afectó unas 300 viviendas, inundó tierras de cultivo y hubo más de mil 200 damnificados.

Provocado por el cambio climático, el retroceso del nevado Chicón produce rebalses, desencadenan a su vez aluviones, los que gracias a la propia topografía son atenuados aguas abajo por la depresión de Occororuyoc que atrapa el material aluviónico, evita catástrofes y hace de Urubamba una ciudad con riesgo medio a bajo a los aluviones de origen glaciar. No obstante, debe considerarse una situación en que un sismo de gran magnitud genere el desprendimiento de una gran masa de hielo y pueda producir un aluvión mayor. Por lo tanto, se deben hacer los monitoreos de los glaciares y establecer sistemas de alerta temprana, como medidas prioritarias, sin olvidar el ensanche del cauce del Río Chicón en el sector que pasa por la ciudad (Figura 25).

6.3 Inundaciones en la ciudad de Iquitos, año 2012

Capital de la Amazonía peruana, con 432 mil 476 habitantes (2014), Iquitos se extiende entre los ríos Nanay, Itaya y Amazonas y vive al ritmo de la dinámica fluvial (Tuukki *et al.*, 1996). El 12 de marzo de 2012 el nivel del Río Amazonas superó la cota de 117,00 msnm, siendo declarado en Alerta Roja Hidrológica por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), y en la tercera semana del mes de marzo se produjo la inundación en la ciudad de Iquitos por encima del nivel esperado. El 5 de abril el Río Amazonas superó en 4 cm su máximo histórico al llegar a 118,62 msnm. Los daños ocasionados por las excepcionales precipitaciones y por las consecuentes inundaciones fueron cuantiosos.

Figura 25. Eventos aluviónicos que afectaron la ciudad de Urubamba (en rojo aluvión del 17 de octubre de 2010)



Fuente: Carlotto, 2010.

Figura 26. Iquitos bajo el agua, abril de 2012



Fuente: <http://cde.elcomercio.pe/66/ima/o/o/4/6/7/467607.jpg>

Se incrementaron los casos de infecciones respiratorias agudas, enfermedades diarreicas agudas, síndrome febril, parasitosis, leptospirosis y malaria, continuándose en el periodo de descenso de las aguas. Hasta la semana epidemiológica 36 se notificaron 5 fallecidos y 18 mil 206 casos: 15 mil 537 (85,34%) vivax, 2 mil 666 (14,64%) falciparum, 1 (0,01%) malaria y 1 (0,01%) mixta. En relación con el mismo periodo de 2011 se tuvieron 9 mil 974 casos más, es decir, un incremento de 121,2% (OPS/OMS, 2013).

Asimismo, según el reporte del 24 de abril de 2012 de la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) se observó en la ciudad de Iquitos:

- Desabastecimiento de agua en parte de los distritos de Punchana y San Juan Bautista.
- Inundaciones por crecida extrema de ríos en la ciudad de Iquitos que afectó 45 mil 262 habitantes de Belén, San Juan y Punchana.
- Suspensión del abastecimiento de agua potable en las zonas periféricas afectadas por las inundaciones para evitar la contaminación del sistema en el resto de la ciudad.
- Afectación de 9 mil 410 conexiones (15,81% del total).
- Colapso de 3 mil 858 o 10,18% de las conexiones domiciliarias de alcantarillado.
- Afectación a las obras de mejoramiento de las redes de agua y desagüe.

7. Conclusiones y recomendaciones

Aunque el marco institucional del sector esté bastante bien establecido, pues logra diferenciar claramente las funciones rectoras de fijación de políticas de aquellas reguladoras y de las de prestación de servicios,¹ no ha resuelto los problemas de débil coordinación entre los diferentes entes del nivel central, y entre éstos y los de otros niveles de gobierno, así como algunos vacíos (Marmanillo, 2006). La gestión convencional del recurso hídrico en zonas urbanas no ha tenido la capacidad para enfrentar los retos clave de la RMLC y de las ciudades grandes, medianas y pequeñas. En general, la gestión del suministro de agua, del saneamiento y de las aguas pluviales no se ha realizado de manera concertada, ni planificada. Ni los planes de ordenamiento urbano, ni los de desarrollo urbano han logrado manejar los diversos componentes infraestructurales de la gestión de las aguas urbanas (suministro de agua, aguas residuales, saneamiento seco, sistemas de drenaje del agua pluvial y tratamiento de desechos sólidos) (Tucci, 2010).

De ahí, y a partir de la comprensión del ciclo hidrológico urbano, es necesario desarrollar una Gestión

Integrada de las Aguas Urbanas (GIAU) que considere todas las diferentes fuentes de agua que se hallan dentro de una zona de captación urbana (aguas superficiales, aguas subterráneas, aguas pluviales, aguas desalinizadas, aguas de tormentas, aguas transferidas, aguas virtuales), además de la calidad de las diferentes fuentes de agua (incluida el agua de reúso) e intentar asignarla de acuerdo a la calidad requerida para diferentes necesidades. Asimismo, como lo señala la Global Water Partnership (GWP), es esencial ver el proceso de almacenaje, distribución, tratamiento, reciclaje y vertido del agua como parte de un ciclo en vez de considerarlo como actividades separadas, y planear la infraestructura de acuerdo con esta visión; hacer planes para proteger, conservar y usar los recursos hídricos en su fuente, velar sobre una participación y gobernabilidad responsables, para consolidar la sostenibilidad y la seguridad hídrica. La Gestión Integrada de las Aguas Urbanas se ha convertido en un punto impostergable de la agenda política. Exige un fortalecimiento de la institucionalidad, continuidad en los procesos, visión transectorial y transdisciplinaria, así como recursos humanos formados y participación responsable.

En este sentido, debe implementarse un proceso de cultura del agua, en las escuelas, colegios y univer-

1. Las primeras están asignadas al Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS); las segundas, al ente regulador (SUNASS); y las terceras, a las EPS, municipalidades y/o juntas de usuarios.

sidades, siendo estos centros de estudios, lugares demostrativos donde se aprende no solamente cómo se debe usar, reusar y reciclar el agua, así como los beneficios que eso significa para la comunidad. Finalmente, todas las ciudades, donde crecen las periferias de pobreza y se acentúan las brechas entre los que acceden a los servicios y los que carecen de ellos, las que prosperan a espaldas de sus ecosistemas y

de sus campos y áreas naturales, necesitan urgentemente sensibilizar a sus habitantes a una nueva cultura del agua, lo que requiere construir una nueva base ética fundada en un cambio de escala de valores integrando el valor del otro, de todos los otros, el valor de lo otro, de los ecosistemas, el valor de la vida por ser la cultura del agua, cultura de la vida.

8. Referencias

- ANA (2009). Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos del Perú. Autoridad Nacional del Agua. Lima.
- ANA (2013). Plan Nacional de Recursos Hídricos del Perú. Executive summary. Autoridad Nacional del Agua. Lima.
- Bernex, Nicole (Editora y co-autora) (2005). *Amanecer en el Bajo Huaytanay*. Cusco: Centro Guamán Poma de Ayala.
- Brown Jeff, L. (2001) "La ciudad perdida". *Civil Engineering Magazine*, January 2001, p. 39. Translated by Alberto Ordóñez C., A. G. Maximiliano and H. Chirinos C.
- Carlotto, Víctor; José Cárdenas and Eliana Ricalde (2010). El nuevo Mapa de Peligros Geológicos del Valle del río Huatanay y la ciudad del Cusco: Instrumento para el Plan de Ordenamiento Territorial. XV Congreso Peruano de Geología. Vol. Resúmenes Extendidos, pp. 983–986. CD.
- Carlotto, Víctor; José Cárdenas; J., Concha; R. Astete; I., Del Castillo; B., García and B. Tito. Evaluación geológica y geodinámica en la Quebrada Chicón: Aluvión del 17 de octubre del 2010 que afectó Urbamba-Cusco Informe Técnico INGEMMET, 31 pp. Lima, November 2010.
- Centro Guamán Poma de Ayala (2006). Aportes al Plan de Acondicionamiento Territorial del Valle Sur del Huatanay-Cusco. Centro Guamán Poma de Ayala. 29 pp.
- Durand, Mathieu (2010). Gestion des déchets et inégalités environnementales et écologiques à Lima. Entre vulnérabilité et durabilité. Thèse de Doctorat en Géographie et Aménagement de l'espace. Université Européenne de Bretagne. Université de Rennes 2.
- INEI (2007). Peru. Crecimiento y Distribución de la Población. Lima.
- INEI (2010). PERU: Mortalidad Infantil y sus Diferenciales por Departamento, Provincia y Distrito 2007. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática – INEI.
- INEI (2014). Estado de la Población Peruana 2014. Lima.
- Ismodes, Eduardo (2013). *Temas en busca de cooperación*. SEDAPAL.
- Kuroiwa, J.M.; Mansen, A.J; Rodríguez, E. (2004). *Use of a Rock Ramp for Erosion Control. Hydrology Days 2004*. American Geophysical Union and Colorado State University. Fort Collins, Colorado. USA.
- Kuroiwa, J.M.; Mansen, A.J; Romero, F.M; Castro, L.F; Vega, R. (2011). Narrowing of the Rimac River due to Anthropogenic Causes -Partial Engineering Solutions. Proceedings of 2011 World Water and Environmental Congress. American Society of Civil Engineers (ASCE). Palm Springs, California, USA.
- Kuroiwa, J.M. and Valle, J.J. (2014). Loss of Aquatic Species due to Invasive Infrastructure in Western Slope South American Rivers. American Society of Civil Engineers (ASCE). Proceedings of International Perspective on Water Resources and the Environment 2014 Conference (Quito, Ecuador). Reston, VA. USA. (In press)
- Lagos, L. (2013). El Agua en los Andes Tropicales en el Contexto del Cambio Climático. Lecture delivered at the specialized conference on "Agua urbana en las Américas" l Lima: ANC, IANAS, ANA.
- Magrin, G., C. Gay García, D. Cruz Choque, J.C. Giménez, A.R. Moreno, G.J. Nagy, C. Nobre and A. Villamizar (2007). Latin America. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability.

- Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 581-615. Consulted at: www.ipcc-wg2.org (Chapter 13: Latin America).
- Marmanillo, Iris. "Agua potable y Saneamiento" in Banco Mundial. *Perú la oportunidad de un país diferente*. http://siteresources.worldbank.org/INTPERUINSPANISH/Resources/Cap.14._Agua_Potable_y_Saneamiento.pdf
- Martínez V., A. and Martínez D., J. (2004). Defensas ribereñas en el Río Rímac. Boletín Científico. Year 2. No. 2. Lima: Instituto de Investigación. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Mendez, Wilder (2005). Contamination of Rimac River Basin Peru, due to Mining Tailings. Master of Science Thesis. Stockholm: Royal Institute of Technology (Sweden).
- Ministerio del Ambiente (MINAM) (2010). El Perú y el cambio climático. Segunda Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Lima: MINAM.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2014). Plan nacional de inversiones del sector saneamiento. Preliminary document. Lima, April 2014.
- Moscoso C., J.C. (2011). *Estudio de opciones de tratamiento y reúso de aguas residuales en Lima Metropolitana*. University of Stuttgart, Liwa. Lima.
- Municipalidad Metropolitana de Lima (MML) (2001). Atlas Ambiental de Lima Metropolitana. Lima: IMP, PEGUP, FCV.
- OPS/OMS (2013). Inundaciones en Loreto. Peru 2012. Respuesta del Sector Agua, Saneamiento e Higiene – Experiencias y aprendizajes. Lima.
- Prialé, Gonzalo (2012). AFIN: SEDAPAL no ha tenido capacidad de gestión de agua y saneamiento. In: *Gestión*, September 19, 2012, consulted at: <http://gestion.pe/economia/afin-sedapal-no-ha-tenido-capacidad-gestion-agua-y-saneamiento-2012580>
- Sadoff, Claudia and M. Muller (2010). *La gestión del agua, la seguridad hídrica y la adaptación al cambio climático: efectos anticipados y respuestas esenciales*. Global Water Partnership.
- Salazar, Enrique (2005). Conflictos Sociales, Acceso al Agua y Previsiones Estratégicas. Recursos Hídricos y Papel Institucional del INRENA. Presented to Congress. Lima: Intendencia de Recursos Hídricos. Instituto Nacional de Recursos Naturales. Ministerio de Agricultura.
- SEDAPAL (2005). Plan Maestro Optimizado. Lima, SEDAPAL, Vol.1.2. 234 pp.
- SEDAPAL (2009). Las tendencias del recurso hídrico y la demanda de Lima y Callao, Lima, SEDAPAL. 36pp.
- SEDAPAL (2012). Memoria Anual. Lima.
- Sociedad de Urbanistas del Perú (2011). Informe Perú: Vulnerabilidad de las ciudades frente al cambio climático en agua potable y saneamiento. Lima, March 2011.
- SUNASS (2011). Reportes 2011. In: <http://intranet.sunass.gob.pe:81/indicadores/index.php/recursos/Reportes/reportes-2011/>
- SUNASS (2012). LAS EPS Y SU DESARROLLO 2012. Report N° 211-2012/SUNASS-120-F. July 25, 2012.
- SUNASS (2013). LAS EPS Y SU DESARROLLO 2013. Report N° 172-2013/SUNASS-120-F. June 25, 2013.
- Tavera, Lizardo. <http://www.arqueologiadelperu.com.ar/chanchan.htm>
- Tavera, Lizardo. <http://www.arqueologiadelperu.com.ar/cajamarquilla.htm>
- Tucci, C.E.M. (2010). 'Integrated urban water management in the humid tropics'. Chapter 1, pp. 1-23. In Parkinson, J.N., Goldenfum, J.A., and Tucci, C.E.M. (Eds) *Integrated Urban Water Management: Humid Tropics*. UNESCO-IHP, Urban Water Series. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris and Taylor and Francis, Leiden.
- Tuukki, Eeva, Päivi Jokinen and Risto Kalliola. "Migraciones en el Río Amazonas en las últimas décadas, sector confluencia ríos Ucayali y Marañón - isla de Iquitos". *Folia Amazónica* Vol. 8(1) -1996, pp. 111-130.
- Wright K.R., A. Valencia and W.L. Lorah. "Ancient Machu Picchu Drainage Engineering" in *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 125, No. 6, November/December, 1999. In: <http://www.waterhistory.org/histories/machupicchu/>

9. Acrónimos

ANA	Autoridad Nacional del Agua
ANC	Academia Nacional de Ciencias del Perú
BOT	Construcción, Operación y Transferencia (Build, Operation, Transfer)
CIGA- PUCP	Centro de Investigación en Geografía Aplicada de la Pontificia Universidad Católica del Perú
EPS	Empresa Prestadora de Servicios
GWP	Global Water Partnership
IANAS	Red Interamericana de Academias de Ciencias
IMP	Instituto Metropolitano de Planificación
INDECI	Instituto Nacional de Defensa Civil
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
INS	Instituto Nacional de Salud
JICA	Agencia de Cooperación Internacional del Japón
MINAM	Ministerio del Ambiente
MINSA	Ministerio de Salud
MML	Municipalidad Metropolitana de Lima
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
RC	Región Callao
RML	Región Lima Metropolitana
RMLC	Región Metropolitana Lima-Callao
SEDAPAL	Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
SUNARP	Superintendencia Nacional de Registros Públicos
SUNASS	Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento

República Dominicana



Palomas volando sobre la plaza principal y la estatua de Cristóbal Colón en la primera ciudad de las Américas, Santo Domingo, capital de República Dominicana. Foto: ©iStock.com/3dan3.



“El gran reto ambiental que enfrenta la ciudad de Santo Domingo, la primera ciudad en las Américas, es limpiar el poderoso Río Ozama, para hacerlo de nuevo más claro, puro y cristalino, como lo fue hace cinco siglos atrás, cuando la ciudad colonial fue fundada en sus orillas”

Aguas Urbanas en la República Dominicana

Rafael Osiris de León

Resumen

En la República Dominicana, los núcleos urbanos cada día tienen mayor tamaño, fruto de un crecimiento poblacional agravado por la falta de oportunidades laborales y la falta de servicios básicos en las zonas rurales. Ello empuja a una parte de las comunidades rurales a desplazarse hacia las zonas urbanas, del mismo modo que muchos nacionales del vecino país de Haití migran hacia la República Dominicana buscando mejores condiciones de vida. Pero tanto quienes proceden de las zonas rurales, como quienes proceden del vecino país, al carecer de recursos económicos suficientes para vivir adecuadamente en las áreas urbanas provistas de servicios básicos, se emplazan a orillas de ríos y arroyos, en casuchas improvisadas, donde no hay ningún tipo de servicio de agua potable ni de saneamiento básico, y sus desechos terminan en los ríos y arroyos vecinos, desde donde se abastecen del vital líquido ya contaminado. Eso ha degradado prácticamente todas nuestras aguas urbanas y hemos multiplicado las enfermedades hídricas que afectan mayormente a nuestra gente pobre, imposibilitada de pagar el alto costo del agua tratada y purificada.

La ciudad de Santo Domingo, capital dominicana, con una población cercana a los 3,5 millones de habitantes, y concentrada en unos 350 kilómetros cuadrados, ha crecido aceleradamente en su marginalidad periférica, contaminando los ríos Ozama, Isabel y Haina. Al mismo tiempo, la ausencia de un adecuado servicio de alcantarillado sanitario ha llevado a los ciudadanos a disponer de sus desechos sanitarios a través de pozos filtrantes verticales que descargan directamente en las mismas aguas subterráneas que más tarde extraemos a través de pozos vecinos para complementar el precario e intermitente servicio de agua potable, llevándonos a mezclar en nuestras cisternas las aguas potables, servidas a través de las tuberías, con las aguas crudas que extraemos directamente del subsuelo contaminado, lo cual debería ser inaceptable en una sociedad organizada y comprometida con la salud y con el saneamiento básico.

Al severo problema de contaminación de las aguas urbanas, se suma una extraordinaria sequía que no se veía en el país desde mediados de los años 90, la cual ha provocado una gran crisis de abastecimiento de agua potable tan grave que ha obligado a las autoridades del sector agua a tener que racionar los cauda-

1. Introducción

les para riego y priorizar la escasa agua disponible para el consumo humano. Y tan grave ha sido la crisis que hasta ha producido conflictos intermunicipales por el acceso a la escasa agua disponible.

Todo ello debe conducir al país a una redefinición de sus políticas públicas en materia de agua potable y saneamiento básico, a fin de comenzar a saldar la vieja deuda acumulada en estos dos importantes aspectos vinculados a la salud, de forma tal que nos pongamos como plazo no más de 12 años para: dotar a la ciudad de Santo Domingo de un adecuado servicio de alcantarillado sanitario con sus plantas de tratamiento, lograr la reubicación de las familias pobres que viven de forma marginal a orillas de ríos y arroyos, corregir las fugas en los sistemas de conducción del agua potable y disponer de nuevas fuentes de captación de agua, lo cual debe ser complementado con una nueva legislación que priorice inversiones en agua potable y saneamiento, y obligue a que todo nuevo proyecto habitacional sea dotado de los servicios de alcantarillados y plantas de tratamiento, motivando al mismo tiempo a los organismos internacionales y al empresariado local a que sean más participativos en estas soluciones.

En la República Dominicana, al igual que en la mayoría de los países latinoamericanos, hablar de aguas urbanas es hablar de ríos y arroyos urbanos contaminados por las descargas directas procedentes de los barrios marginados vecinos que no disponen de alcantarillados sanitarios, ni disponen de servicios de recogida de basuras, ni están conectados al sistema de abastecimiento de agua potable, ni han sido formados adecuadamente con una cultura del cuidado del agua y del saneamiento básico, del mismo modo que la gran mayoría de industrias urbanas no dispone de plantas de tratamiento para sus aguas servidas, convirtiéndose así los ríos urbanos de Santo Domingo y de las principales ciudades del país en los grandes receptores de las descargas orgánicas y químicas que cada día deterioran más la calidad del agua que debe ser consumida por la población creciente.

La ciudad de Santo Domingo fue fundada en el año 1495, justo a orillas del caudaloso y cristalino Río Ozama, el cual servía como fuente de abastecimiento de agua potable permanente, pero en los posteriores 520 años que han transcurrido la ciudad ha crecido hacia el Este, hacia el Norte y hacia el Oeste, arrojando parte importante de las márgenes del Río Ozama

Foto 1. Río Ozama y su hacinamiento marginal que le convierte en uno de los ríos urbanos más contaminados



y su afluente el Río Isabela, así como el occidental Río Haina, los cuales hoy día están severamente contaminados por el urbanismo y por la industria.

Pero el crecimiento experimentado por la ciudad de Santo Domingo, en la segunda mitad del siglo XX, motivó que se iniciara un acelerado proceso de aprovechamiento de las aguas subterráneas disponibles en el acuífero de las calizas coralinas sobre las que se levanta la misma ciudad capital, acuífero cuya franja de mayor captación efectiva se extiende E-W por unos mil 200 kilómetros cuadrados y recibe una recarga neta anual cercana a los mil 200 millones de metros cúbicos de agua. Al mismo tiempo ha recibido las descargas directas verticales de casi 90% de las aguas cloacales aportadas por casi 3,5 millones de habitantes que aportan unas 7 mil toneladas diarias de excrementos, por cuya razón este importante acuífero, el de mayor recarga neta del país, hoy está severamente contaminado al igual que los ríos circundantes a la ciudad.

Esta situación ha degradado prácticamente todas nuestras aguas urbanas, tanto las superficiales como las subterráneas de la Planicie Costera Oriental, donde están las ciudades de Santo Domingo, Boca Chica, San Pedro de Macorís, La Romana e Higüey, así como la creciente zona turística de Bávaro y Punta Cana, lo cual amerita la urgente atención y solución, sobre todo porque la sobre explotación de las aguas subterráneas en las zonas turísticas de Boca Chica y Bávaro ha generado procesos de intrusión salina de 15 y 4 km respectivamente.

Pero lo más preocupante es que en la República Dominicana no se adoptan correctas políticas públicas en materia de agua potable y saneamiento básico, ni se invierten recursos económicos en la construcción de alcantarillados sanitarios, ni en plantas de tratamiento de aguas servidas, motivo por el cual los sectores residenciales de mayor poder económico en la ciudad capital no disponen de alcantarillas para aguas servidas, y se permite que todas las nuevas edificaciones construyan pozos filtrantes para descargar verticalmente sus desechos sanitarios hacia las mismas aguas subterráneas que también extraemos para complementar los insuficientes caudales que recibimos desde las principales tomas ubicadas en las afueras de la ciudad, olvidando que el acuífero de Santo Domingo yace en un lecho de roca caliza coralina altamente porosa, donde la conductividad hidráulica es muy alta, y donde cualquier

contaminante orgánico o químico se esparce rápidamente en todo su entorno, pero mayormente en sentido norte-sur, que es hacia donde desciende la pendiente hidráulica que busca el nivel del Mar Caribe ubicado al lado Sur.

Este dantesco cuadro de extraordinaria contaminación urbana e industrial, tanto en los barrios ricos como en los barrios marginados, sumado a una vieja red de suministro de agua a través de la cual se pierde poco más de la mitad del agua, bien sea por fugas en las redes primarias y secundarias, o bien sea por consumo informal no registrado, o no pagado, y sumado a la falta de inversiones en nuevas obras de toma de agua, motiva que múltiples sectores de la ciudad capital, así como amplios sectores de las grandes ciudades del país, carezcan de suministro permanente de agua potable. Ello obliga a mucha gente a comprar camiones de agua para su abastecimiento, o les obliga a protestar airadamente

El Río Maguá agoniza por contaminación

Diario Libre. Lunes 28 de julio de 2014

El río Maguá, que nace a siete kilómetros de la comunidad agrícola de El Manchado, en la parte norte de Hato Mayor, registra un alto grado de contaminación producto del lanzamiento de desperdicios industriales, grasas y heces fecales que vierten más de mil retretes que existen en ambas riberas de esta fuente hídrica.

El otrora caudaloso río ahora está convertido en una cloaca municipal por los desperdicios lanzados a sus aguas, y que amenazan con hacer desaparecer el importante afluente.

La mugre cubre sus aguas desde su nacimiento, debido a que el cabildo habilitó el vertedero municipal a escasos metros del nacimiento de las escorrentías que alimentan su cauce. Ya en la ciudad de Hato Mayor, el río Maguá es afectado por las heces y orinas que vierten cientos de retretes, y por los residuos de carnes de animales que son sacrificados en el matadero municipal, el cual se localiza a unos 200 metros de su ribera. A su cauce también va a parar la cañería matriz del sistema sanitario de Hato Mayor, el cual colapsó, reventando y lanzando las heces a las aguas del agonizante río.

También la tala de los árboles localizados en las riberas del Maguá ha ayudado, de manera gradual, en la agonía de este importante río local. Los residuos tóxicos han provocado la muerte de peces, jaibas, camarones, hicoteas, guabinas, tilapias y dajaos, que han ido desapareciendo de sus aguas.

En el año 2000, la Asociación de Ganaderos de Hato Mayor, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y otros organismos nacionales e internacionales, anunciaron un saneamiento del río Maguá, pero el proyecto fue discontinuado, supuestamente por falta de recursos y por la poca disposición del Gobierno para enfrentar la contaminación de este importante recurso hídrico.

en procura de ser escuchados por las autoridades que tienen a su cargo el manejo de las aguas que deben llegar a los centros urbanos.

2. Las aguas y los problemas causados por los procesos de urbanización

En condiciones normales, la ciudad de Santo Domingo, capital del país, con casi 3,5 millones de habitantes, recibe cerca de 410 millones de galones de agua cada día, a través de la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo (CAASD), de los cuales 142 millones de galones por día provienen de las fuentes superficiales de Isa, Mana, Duey, Guanaitos, Haina, Isabela y Barrera Salinidad Ozama; 138 millones de galones por día provienen de los pozos hechos por la CAASD y 130 millones de galones diarios provienen de la occidental presa de Valdesia, lo que indica que la ciudad de Santo Domingo se abastece en proporciones casi iguales desde tres fuentes: un grupo de ríos superficiales, un excelente acuífero en roca caliza coralina y una importante presa que además de aportar 6 metros cúbicos por segundo para el acueducto, aporta 20 metros cúbicos por segundo para canales de riego y 54 MW de potencia eléctrica, aunque los pozos particulares podrían estar aportando unos 100 millones de galones diariamente.

La ciudad de Santiago de los Caballeros, la segunda ciudad del país, con casi 700 mil habitantes, se abastece 100% del agua de la presa de Tavera-Bao, la cual le aporta cerca de 125 millones de galones diarios, y donde el aporte subterráneo es casi nulo en vista de que la ciudad de Santiago está posicionada sobre arcillas calcáreas impermeables depositadas sobre lutitas arcillosas impermeables que no constituyen acuíferos; y la ciudad de Moca, vecina oriental de Santiago, con casi 100 mil habitantes, también se abastece de la presa de Tavera-Bao, la que le aporta 20 millones de galones diarios, pues al carecer de ríos superficiales importantes, no cuenta con captaciones locales, y al estar levantada sobre arcillas impermeables, tampoco puede depender de aguas subterráneas.

Las ciudades del Cibao central, como La Vega, con casi 400 mil habitantes; San Francisco de Macorís, con casi 180 mil habitantes; Bonao, con casi 125 mil habitantes; y Cotuí, con casi 75 mil habitantes, se abastecen de las aguas superficiales de los ríos

Yuna, Masipetro, Maimón, Camú y Jima, así como de la presa de Hatillo, construida sobre el Río Yuna, y la presa de Rincón, construida sobre el Río Jima, pues en esta zona no hay aprovechamientos importantes de aguas subterráneas, ya que los acuíferos son muy limitados y poco productivos.

El acueducto de la Línea Noroeste, el cual se abastece de la presa de Monción –construida sobre el Río Mao–, abastece agua a unas 500 mil personas de la zona noroccidental del país, desde Navarrete, Esperanza, Valverde Mao y Monción, hasta Sabaneta, Villa Vásquez y Monte Cristi, lo que indica que prácticamente todo el valle del Cibao depende de las aguas superficiales almacenadas en las presas, aguas que están contaminadas por la expansión urbana carente de alcantarillados sanitarios, por desechos líquidos industriales descargados directamente en ríos y arroyos, por vertederos de basuras ubicados a orillas de ríos y arroyos, por actividades agrícolas que utilizan agentes químicos tóxicos, por actividades pecuarias que aportan excrementos animales a los arroyos y ríos vecino; y por aguas ácidas, cargadas de metales pesados, procedentes de operaciones mineras a cielo abierto sobre depósitos minerales sulfurosos, sin adecuada regulación oficial.

El mayor aprovechamiento de las aguas subterráneas en la República Dominicana se concentra en las regiones Sur, Sureste y Suroeste, donde hay importantes y extensos acuíferos en calizas coralinas recientes, en calizas litográficas terciarias y en abanicos aluviales de gravas gruesas y arenas, estando el mayor aprovechamiento subterráneo en Santo Domingo (33% del suministro diario), Boca Chica (100%), Punta Cana (100%), Bávaro (100%), San Pedro de Macorís y La Romana (suministro parcial), pero muy especialmente las comunidades de Punta Cana y Bávaro que definen el principal polo turístico de la región del Caribe, donde por la ausencia de fuentes de aguas superficiales, la hotelería ha tenido que recurrir al aprovechamiento extendido de los acuíferos costeros de las calizas coralinas recientes. Al mismo tiempo, la sobreexplotación del agua subterránea ha generado procesos de intrusión salina que en Bávaro han avanzado 4 kilómetros tierra adentro, y en Boca Chica han avanzado 15 kilómetros tierra adentro, situación que al sumarse a la contaminación producida por la proliferación de pozos filtrantes que descargan en el acuífero las aguas residuales residenciales y hoteleras, y al sumarse a los vertederos

Tabla 1. Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo (CAASD). Producción mensual de los campos de pozos en millones de galones por mes, 2009 (Fuente: Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo, CAASD)

Sistema/Mes	2009												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ags	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
LECHERIA	140.55	116.29	123.96	103.61	116.21	97.06	110.74	132.62	117.00	137.47	118.30	130.45	1444.26
SECTORAL	79.20	69.74	49.64	55.53	45.47	41.78	43.13	43.83	41.75	31.06	30.55	50.41	582.09
TOTAL NORTHWEST	219.75	186.03	173.60	159.14	161.68	138.84	153.87	1776.45	158.75	168.534	148.85	180.861	2026.36
CAFÉ WELL FIELD	41.27	37.96	42.57	37.56	41.31	38.12	32.38	35.50	35.22	37.44	38.66	38.91	456.90
LAS CAOBAS	116.80	125.85	137.12	108.55	115.36	129.14	133.04	59.07	0.00	0.00	0.00	0.00	924.93
SECTORAL SYSTEMS	186.64	173.45	177.45	157.38	163.49	166.54	162.53	164.87	155.28	160.84	140.67	158.83	1967.97
TOTAL NOROESTE	344.71	337.26	357.14	303.49	320.16	333.8	327.95	259.44	190.50	198.28	179.33	197.74	3349.80
MATA-MAMON I AND II	151.22	110.63	175.35	203.95	197.80	180.03	168.60	164.30	143.34	167.33	145.15	120.16	1927.85
SABANA PERDIDA	181.71	167.82	171.17	162.32	177.31	185.96	187.19	181.96	138.81	131.63	170.83	169.55	2029.26
SECTORAL	340.18	290.05	338.57	308.33	501.07	518.27	499.09	481.26	429.22	484.28	412.38	532.50	5135.20
TOTAL NORTE	717.38	606.45	727.66	712.16	917.49	922.377	887.27	863.023	746.58	820.68	767.02	861.116	9549.21
LOS MAREÑOS	808.59	751.75	807.30	723.41	866.82	803.09	780.45	756.77	756.88	774.41	767.41	824.25	9421.13
EL NARANJO	192.13	152.41	156.78	166.57	192.67	166.89	182.15	147.98	137.08	151.43	145.88	176.09	1968.06
LA CATALINA	171.88	151.44	167.22	137.28	155.54	166.93	209.58	154.96	166.65	178.12	140.14	131.37	1931.11
LA JOYA	776.57	707.03	727.94	574.45	749.44	827.73	837.27	784.97	704.35	846.51	636.14	791.42	8763.82
LA CALETA	119.08	88.60	117.30	171.12	187.70	163.44	185.03	183.79	175.66	186.79	181.49	186.74	1946.71
BRUJUELA	600.19	542.82	594.76	569.15	597.36	570.86	586.55	562.47	504.44	505.70	480.63	512.69	6627.62
SECTORAL	16.88	13.60	15.59	13.74	12.42	19.59	17.50	16.13	18.74	15.20	19.64	19.12	198.15
TOTAL ESTE	2685.32	2407.65	2586.89	2355.72	2762.95	2718.53	2798.53	2707.07	2463.80	2458.16	2371.33	2641.68	30856.63
TOTAL	3967.163	3537.392858	3845.292635	3530.51	4161.283	4113.547	4167.615	3905.983	3559.631	3645.654	3466.534	3881.397	45782.00219

Tabla 2. Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo (CAASD). Producción mensual de los campos de pozos en millones de galones por mes, 2011 (Fuente: Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo, CAASD)

Sistema/Mes	2011												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ags	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
LECHERIA	98.060	76.950	90.480	80.610	83.220	107.280	116.900	113.460	108.310	122.630	121.400	109.800	1229.100
SECTORAL	33.768	28.289	28.314	12.873	15.244	14.880	10.084	13.319	18.896	27.108	26.046	29.896	260.717
TOTAL NOROESTE	131.828	105.24	118.794	95.483	98.464	122.16	126.984	126.779	127.206	149.738	147.446	139.696	1489.817
CAFÉ WELL FIELD	131.828	105.24	118.794	95.483	98.464	122.15	126.984	126.779	127.206	149.738	147.446	139.696	1489.817
LAS CAOBAS	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
SECTORAL SYSTEMS	182.140	165.290	184.260	166.790	174.210	176.430	175.053	163.780	139.980	181.800	172.874	161.197	2043.804
TOTAL SUROESTE	208.59	190.06	214.35	196.11	201.44	196.81	195.623	182.61	157	195.83	186.624	178.217	2303.263
MATA-MAMON I AND II	39.712	42.725	55.670	65.647	65.585	67.040	66.183	58.408	49.210	35.630	33.711	40.737	620.258
SABANA PERDIDA	173.929	159.965	182.252	167.156	146.635	143.132	133.524	133.138	125.093	147.088	148.672	152.127	1812.613
SABANA PERDIDA	64.578	60.876	68.223	59.843	34.104	38.664	32.290	30.690	29.111	35.395	34.770	38.798	527.342
SAN FELIPE	38.471	30.555	31.193	28.466	22.504	27.302	16.750	13.012	20.637	16.958	12.953	7.335	266.736
SECTORIALES	441.481	365.330	414.922	402.810	401.634	429.286	428.381	407.857	399.706	453.146	403.303	414.502	4962.358
TOTAL NORTE	717.38	606.45	727.66	712.16	917.49	922.377	887.27	863.023	746.58	820.68	767.02	861.116	7800.24
LOS MAREÑOS	485.230	482.420	571.300	619.050	508.180	476.070	494.680	476.460	458.360	219.910	285.100	281.090	5458.850
EL NARANJO	155.090	143.340	148.240	149.880	126.590	108.520	122.920	121.220	67.370	96.220	120.940	123.940	1484.170
LA CATALINA	134.990	135.460	161.480	164.480	153.300	172.300	212.780	146.590	138.820	174.620	166.540	179.680	1941.040
LA JOYA	541.370	581.640	710.880	598.590	525.750	567.420	499.300	450.560	564.860	512.900	420.230	351.470	6324.970
LA CALETA	151.160	170.750	183.880	169.930	169.650	135.690	158.040	98.160	85.510	172.740	173.150	176.140	1844.800
BRUJUELA	430.820	393.880	380.660	361.730	350.900	335.480	432.470	410.283	412.410	417.120	452.650	475.710	4853.413
SECTORAL	35.380	31.970	32.250	32.640	35.110	34.370	33.450	40.140	26.010	23.000	29.160	29.490	183.070
TOTAL ESTE	2685.32	2407.65	2586.89	2355.72	2762.95	2718.53	2798.53	2707.07	2463.80	2458.16	2371.33	2641.68	22290.313
TOTAL	3967.163	3537.392858	3845.292635	3530.51	4161.283	4113.547	4167.615	3905.983	3559.631	3645.654	3466.534	3881.397	33946.97

Tabla 3. Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo (CAASD). Producción mensual de los campos de pozos en millones de galones por mes, 2013 (Fuente: Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo, CAASD)

Sistema/Mes													2013
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ags	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
LECHERIA	105.410	98.60	123.810	112.019	108.800	108.160	108.800	104.010	95.270	70.510	88.870	130.030	1255.289
SECTORAL	26.480	28.340	30.856	17.156	29.880	20.270	15.372	17.352	23.642	20.848	26.560	21.004	277.529
TOTAL NOROESTE	131.89	126.94	154.666	130.175	138.68	128.43	124.172	121.362	118.911	91.358	115.43	151.034	1533.048
CAFÉ WELL FIELD	35.630	31.910	35.000	31.680	35.160	34.890	35.440	34.150	30.660	29.730	20.020	35.130	398.400
LAS CAOBAS													
SECTORAL SYSTEMS	227.250	198.180	205.780	158.980	165.820	169.180	173.240	178.000	175.320	176.140	175.260	174.020	2176.170
TOTAL SUROESTE	262.88	230.09	240.78	190.66	200.98	203.07	280.68	212.25	205.98	205.87	204.28	209.15	2574.57
MATA-MAMON I	20.911	20.450	19.730	15.375	14.157	10.841	19.956	11.179	8.332	25.270	27.909	28.771	222.914
MATA-MAMON II	141.462	149.193	157.223	140.023	139.006	141.332	134.542	132.960	137.351	146.479	139.609	115.035	1674.215
SABANA PERDIDA	39.846	35.624	39.058	36.176	36.725	34.804	35.552	30.308	28.348	38.443	57.810	58.716	471.410
SAN FELIPE	26.774	24.019	26.077	22.675	25.868	23.702	21.940	25.114	16.735	22.435	19.003	20.407	274.779
SECTORAL	350.155	339.061	353.536	331.031	363.769	336.403	339.212	331.284	300.549	340.383	328.627	382.665	4096.675
TOTAL NORTE	644.925	596.88	624.451	548.862	592.1819	563.089	569.944	564.736	520.952	577.401	580.7	635.808	7019.0339
LOS MAREÑOS	532.410	395.410	532.480	440.330	427.420	313.280	378.380	377.110	398.920	427.950	319.420	254.920	4797.930
EL NARANJO	112.420	88.200	111.090	68.430	65.080	61.540	61.850	63.470	65.310	51.360	45.030	74.210	867.990
LA CATALINA	123.580	114.980	128.390	117.490	124.390	94.410	70.250	67.780	208.880	200.870	208.030	228.830	1687.880
LA JOYA	112.420	461.510	483.800	497.140	470.130	412.700	409.170	417.100	550.610	506.590	506.080	421.470	5604.480
LA CALETA	186.200	122.400	143.630	176.050	189.930	164.370	181.370	181.370	176.530	144.040	162.270	185.140	2013.300
BRUJUELA	364.690	331.780	332.090	325.460	294.930	248.140	267.120	268.340	313.050	295.040	260.500	318.430	3619.570
SECTORAL	31.950	31.250	34.650	31.310	32.910	30.940	30.171	30.140	33.910	32.280	31.860	33.935	385.306
TOTAL ESTE	1819.4	1545.53	1766.13	1656.21	1604.79	1325.38	1398.311	1405.31	1747.14	1658.13	1533.19	1516.935	18076.456
TOTAL	2831.137	2489.787	27584	2504.075	2501.7979	2197.981	2276.037	2281.006	2580.763	2558.15	2428.759	2441.798	29845.8749

Tabla 4. Suministro de agua en Santo Domingo

Las fuentes de abastecimiento de agua para el acueducto de la ciudad de Santo Domingo pueden dividirse en tres grupos:

1. Fuentes superficiales Isa, Mana, Duey, Guanaitos, Haina, Isabela, Barrera Salinidad: 142 millones de galones por día = 35%
2. Pozos CAASD: 138 millones de galones por día = 33%
3. Presa de Valdesia: 130 millones de galones por día = 32%

Fuente: CAASD

de basuras sin sustrato de impermeabilización para protección, han deteriorado gravemente las aguas subterráneas de toda la zona, poniendo en peligro el futuro abastecimiento.

2.1 Impactos del urbanismo en la cantidad y calidad del agua en República Dominicana

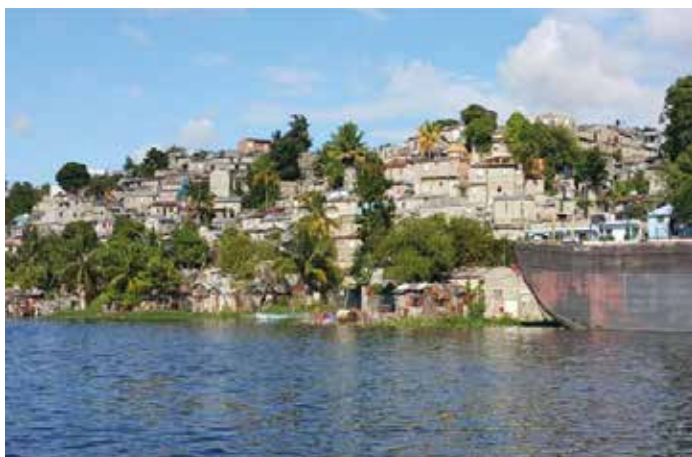
El crecimiento urbano en la República Dominicana ha impactado severamente la cantidad y la calidad del agua disponible en los principales núcleos urbanos, al extremo que desde la década de 1970 fue necesario comenzar con un amplio programa de construcción de represas, que ya suman unas 34 en total y almacenan cerca de 2 mil 500 millones de metros cúbicos de agua. Muchas de esas represas están

distanciadas de los núcleos urbanos, donde la contaminación residencial e industrial es muy inferior a ellos, para abastecer el vital líquido. Las tomas directas desde los principales ríos cercanos a los núcleos urbanos eran insuficientes para la demanda creciente, especialmente en períodos de largas sequías, a lo que se suma el hecho de los altos niveles de contaminación urbana por falta de alcantarillados sanitarios, por falta de plantas de tratamiento de aguas servidas residenciales e industriales, por falta de rellenos sanitarios para disponer adecuadamente de los desechos sólidos y por falta de correctas políticas públicas orientadas a la protección de las fuentes de aguas, pues aunque las aguas están protegidas por la legislación ambiental 64-00, en la realidad esa protección no se cumple.

Foto 2. Vista de la marginalidad habitacional a orillas del caudaloso Río Ozama en Santo Domingo, la cual se convierte en una permanente fuente de contaminación orgánica bacterial y en grandes aportes de basuras. Foto Osiris de León



Foto 3. Vista de la extraordinaria expansión de la vivienda a las orillas del Río Ozama en Santo Domingo. Foto Osiris de León



2.2 Principales fuentes de contaminación de las aguas de Santo Domingo

Los miles de pozos filtrantes construidos irregularmente en la ciudad de Santo Domingo para descargar las aguas de los inodoros residenciales, fruto de la ausencia de un adecuado sistema de alcantarillado sanitario para toda la ciudad; los miles de ciuda-

danos pobres que viven en las márgenes de los ríos Ozama, Isabela y Haina, así como en los arroyos y cañadas afluentes a dichos ríos, y que carecen de servicios básicos; miles de industrias que carecen de plantas de tratamiento para sus efluentes y los vertederos de basuras sobre materiales permeables, son las principales fuentes de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas de Santo Domingo, contaminación que no está siendo enfrentada eficazmente por las autoridades.

2.3 La sobreexplotación de las aguas en la República Dominicana

El principal caso de sobreexplotación de las aguas en la República Dominicana se refiere a las aguas subterráneas de la ciudad de Santo Domingo, donde 33% del suministro diario viene de fuentes subterráneas. También, en el polo turístico de Boca Chica, 100% del agua es subterránea, procedente fundamentalmente del campo de pozos de Brujuelas-Casuí. Asimismo, en Punta Cana y Bávaro, que representan el principal polo turístico de la región del Caribe, 100% del agua suministrada a la hotelería es subterránea debido a la ausencia de fuentes de aguas superficiales, un

acueducto regional y represas, todo lo cual ha llevado a la hotelería a tener que recurrir individualmente al aprovechamiento extendido de los acuíferos costeros de las calizas coralinas recientes. Ello produce una extraordinaria sobreexplotación del acuífero que ya ha generado diferentes procesos de intrusión salina, que en Bávaro han avanzado 4 kilómetros tierra adentro, y en Boca Chica han avanzado 15 kilómetros tierra adentro, dañando parcialmente este importantísimo acuífero costero poroso, sin que hasta ahora se haya decidido construir un acueducto regional, apoyado en represas construidas sobre los principales ríos de la zona este del país.

2.4 Las fuentes de agua y la distribución de la población urbana

Desde la época de la colonización, a partir de 1492, los principales núcleos urbanos de la República Dominicana han crecido a orillas o en las cercanías de los principales ríos, buscando acercarse a las fuentes de abastecimiento de agua potable. Sin embargo, en la medida en que los núcleos urbanos han ido creciendo y las redes de acueductos urbanos se han ido extendiendo lateralmente, muchos sectores urbanos han ido distanciándose de gran cantidad de ríos, por lo que hoy día no es tan obligatorio vivir cerca de éstos, como lo era en el pasado. Mucha gente ha ido tomando conocimiento de los peligros y riesgos de vivir en las vecindades de ríos y arroyos que, por nuestra condición tropical, en períodos de vaguadas, tormentas y huracanes pueden desbordarse y producir desastres sociales como los que hemos tenido durante el paso del Huracán David y la Tormenta Frederick en septiembre de 1979, o el del Huracán Georges en septiembre de 1998, o el de la denominada Tormenta de Jimaní en mayo de 2004, o el de la Tormenta Noel en octubre de 2007 o el de la tormenta subtropical Olga en diciembre de 2007.

En la actualidad, para la clase media y la clase alta de la República Dominicana, ya no es necesario vivir cerca de ríos y arroyos para tener acceso al agua potable, pues las presas y los acueductos se encargan de captar y transportar el agua desde decenas de kilómetros de distancia; sin embargo, en los casos de los asentamientos humanos marginales, la falta de recursos económicos obliga a la gente muy pobre a tener que ubicarse a orillas de ríos, arroyos y cañadas para poder tener acceso al agua, aunque no sea

potable, lo que constituye un problema social que el Estado deberá ayudar a resolver reubicando a esas personas en otras áreas donde puedan disponer de mejores condiciones de vida.

2.5 Contaminación de las aguas en asentamientos periurbanos informales

Los mayores problemas de contaminación de las aguas urbanas y de las consecuentes enfermedades hídricas afectan a los asentamientos humanos informales que desde hace décadas han ido creciendo a orillas del Río Ozama, de las cañadas de Guajimía, Bonavides, del Diablo y de otras casi 80 más, todas concentradas mayormente en las partes norte y oeste de la ciudad de Santo Domingo, y donde enfermedades como el cólera, la gastroenteritis, la amebiasis y las diarreas frecuentes han afectado a decenas de residentes en sus márgenes.

Igual situación se presenta en todo el país, donde la gente extremadamente pobre se emplaza a orillas de ríos, arroyos y cañadas, sin disponer de los servicios básicos requeridos para garantizar su salud.

3. El suministro de agua en zonas urbanas de República Dominicana

En la República Dominicana, de acuerdo a los datos publicados por la Encuesta Demográfica y de Salud (ENDESA) y por el Programa de las Naciones Unidas (PNUD) el 92% de la población urbana tiene acceso al agua dentro del hogar o muy cerca del hogar (fuentes mejoradas de agua), sin embargo, de acuerdo al Ministerio de Salud Pública el porcentaje real es menor y lo ubica en un 87%.

De acuerdo al PNUD se espera que para el año 2015, el total de hogares urbanos con servicios mejorados de agua sea del 92%, aunque la meta trazada dentro de los Objetivos del Milenio (ODM) es que para el año 2015 el 98.5% de la población urbana tenga acceso al agua dentro del hogar o muy cerca del hogar, y que menos del 2% de la población urbana carezca de los servicios de agua dentro del hogar o muy cerca del hogar, meta que por lo visto no será alcanzada en los meses que restan para llegar al año 2015.

A partir de los datos estadísticos elaborados por ENDESA y ENHOGAR, en los últimos 20 años el porcentaje de hogares que consumen agua embotellada ha subido de apenas 8.8% en el año 1991, a un 64.3% en el año 2011, consumo que se concentra en las zonas urbanas, y que se debe a la desconfianza que mucha gente tiene respecto a la calidad y potabilidad del agua servida a través de las tuberías de los acueductos urbanos, tuberías que por no estar en servicio permanente las 24 horas del día, muchas veces reciben contaminación externa vía juntas deterioradas, vía roturas importantes, vía malas conexiones, o vía tuberías sanitarias vecinas.

El 50% de la población urbana dominicana recibe agua a través de las redes construidas por el Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillados

(INAPA), pero no incluye las grandes ciudades como Santo Domingo, ciudad que reúne el 35% de la población dominicana y cuyos servicios de agua son suministrados por la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo (CAASD), ni incluye a Santiago, ciudad que reúne al 8% de la población dominicana y cuyos servicios de agua son suministrados por la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santiago, mientras el restante 7% es servido por corporaciones locales del agua.

Esta situación implica que muchos hogares de clase media deben destinar entre un 2% y un 3% de sus ingresos para adquirir agua embotellada, como única forma de poder tomar agua potable, aunque estudios bacteriológicos realizados en muchas ocasiones han demostrado que muchas de las aguas em-

Tabla 5. Cobertura de fuentes mejoradas de agua

Zona	1996	2002	2007
Urbana	97.0	90.7	91.9
Rural	56.0	63.8	73.3
Total	81.2	81.1	86.2

Fuente: ENDESA 1996, 2002 y EDESA 2007. Porcentaje de población que tiene acceso a agua entubada dentro o fuera de la vivienda

Tabla 6. Porcentaje de población que tiene acceso a agua entubada dentro o fuera de la vivienda

Zona	Hogares sin acceso en %					Esfuerzo de crecimiento	
	1996	2002	2007	2015		de tendencia	Necesario
				Esperado por tendencia	Meta		
Urbana	3	9.3	8.1	8.6	1.5	-0.72%	-19.00%
Rural	44	36.2	26.7	18.6	22	-4.40%	-2.40%
Total	18	18.9	13.8	11	9.4	-2.80%	-4.70%

Fuente: ENDESA 1996, 2002 y EDESA 2007.

Tabla 7. Distribución porcentual de los hogares según fuente de agua para beber, 1991-2011

Tipo de abastecimiento	ENDESA 1991	ENDESA 1991	ENDESA 1991	ENHOGAR 2011
Tubería dentro de la vivienda	20.4	9.1	9.4	4.3
Tubería fuera de la vivienda o llave pública	46.2	19.3	13.0	9.6
Pozo	3.6	2.5	2.0	1.5
Manatíal, río o arroyo	9.7	2.8	1.8	2.7
Lluvia	9.0	9.0	6.7	6.5
Camión tanque	1.1	2.0	0.6	1.7
Agua embotellada	8.8	55.0	55.7	64.3
Camioncito	-	-	10.6	8.2
Otra fuente	1.1	0.2	0.3	1.0
No sabe	-	0.1	-	0.0

Fuente: ENDESA 1991, 2002 y 2007; ENHOGAR 2011.

botelladas que se comercializan en la República Dominicana están contaminadas con diferentes tipos de bacterias, mayormente bacterias coliformes fecales, debido a la ausencia de supervisión permanente a las empresas que comercializan el agua embotellada.

3.1 El desperdicio del agua en la República Dominicana

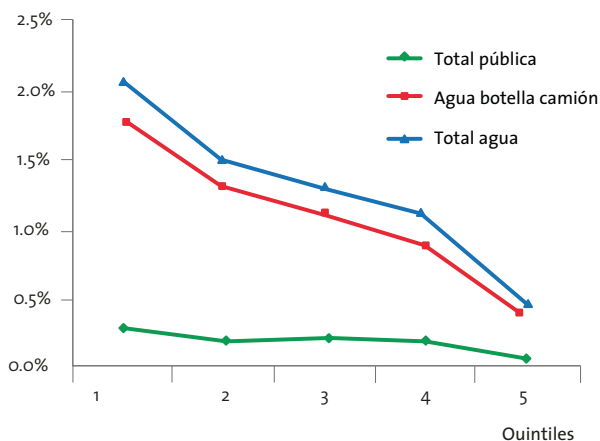
Desde hace décadas se ha planteado que en la República Dominicana cerca de 60% del agua puesta en las redes primarias se pierde por las averías fruto de la obsolescencia del sistema de distribución y por el mal uso de los ciudadanos en sus hogares, ya que como el agua cuesta muy poco, apenas US\$0.14/metro cúbico, y muchos no la pagan, la gente la desperdicia en exceso.

3.2 Sequía, desperdicios y actual crisis del agua en Santo Domingo

Desde mediados de los años '90 las ciudades de Santo Domingo y Santiago no sufrían una crisis de agua potable tan grave como la que han sufrido en el año 2014, fruto de una larga sequía que ha disminuido las reservas de agua en la presa de Valdesia y en la presa de Tavera.

El Director de la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo (CAASD), Arq. Alejandro Montás, ha dicho que la ciudad Capital está recibiendo 100 millones de galones de agua menos que lo normal, siendo lo normal unos 408 millones de galones de agua por día, para abastecer a unos 3,5 millones de habitantes de la Capital, lo que indica que el gran Santo Domingo está recibiendo un 25%

Figura 1. Gasto mensual en agua de los hogares como proporción del ingreso total, según quintil de ingresos, 2004



Fuente: ODP/PNUD con base en ENCOVI

menos de agua, mientras la población de la Capital crece y demanda más agua, 60% del agua se desperdicia en las redes obsoletas y averiadas y quienes reciben agua también la desperdician en sus hogares por falta de una buena educación sobre el correcto uso del agua, lo que desde ya comienza a proyectar crisis frecuentes en el suministro de agua a los grandes núcleos urbanos.

Esa realidad ha llevado al Director de la CAASD a tener que coordinar con el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI) un cambio en la administración del agua almacenada en la presa de Valdesia, presa desde donde diariamente deben salir 6 metros cúbicos por segundo para el acueducto de Santo Domingo y 12 metros cúbicos por segundo para el canal Marcos A. Cabral, pero ante la realidad

Tabla 8. Número de acueductos que operan las instituciones de agua potable del país

Institución	Área Jurisdicción Operacional		Cantidad de Acueductos
	Km ²	%	
Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillados (INAPA)	41,083.90	84.40%	448
Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo (CAASD)	1,400.80	2.90%	15
Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santiago (CORAASAN)	2,836.50	5.80%	4
Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Moca (CORAAMOCA)	838.6	1.70%	6
Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Puerto Plata (CORAAPLATA)	1,856.90	3.80%	32
Corporación del Acueducto y Alcantarillado de La Romana (CORAROM)	654	1.30%	8
Total	48,670.60	100%	513

Fuente: ODH/PNUD con base en INDRHI 2006.

Table 9. Porcentaje de la población cubierta por las empresas del sector APS, 2002 (personas en hogares que reciben agua del acueducto, dentro o fuera de la vivienda)

Firm	Zona urbana		Zona rural		Totales		
	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	Total
CAASD	93%	94%	72%	73%	89%	89%	89%
CORAAMOCA	90%	92%	66%	67%	75%	77%	76%
CORAPP	91%	92%	62%	64%	76%	78%	77%
COAAROM	83%	83%	76%	75%	82%	83%	82%
CORAASAN	97%	97%	0%	0%	97%	97%	97%
INAPA	82%	83%	58%	60%	70%	72%	71%
Totales	88%	89%	61%	63%	78%	80%	79%

Fuente: ODH/PNUD con base en el Censo 2002.

de que la presa de Valdesia hoy está unos 23 metros por debajo de su corona, las autoridades han debido racionar el agua para el canal Marcos A. Cabral y priorizar el agua para el consumo humano en el acueducto de Santo Domingo.

Igual situación se ha presentado en la ciudad de Santiago de los Caballeros, donde el suministro de agua, desde la presa de Tavera se ha reducido en un 30%, debido a que en los últimos meses el nivel del embalse del complejo Tavera-Bao, ha estado en 18 metros por debajo de su corona, y 8 metros por debajo de su denominado nivel crítico, afectando sensiblemente la vida diaria en la segunda ciudad más importante del país.

Ante esa preocupante realidad se impone el diseño de urgentes estrategias gubernamentales para la captación de cada gota de lluvia que caiga sobre el territorio nacional; la correcta administración de todos los caudales disponibles en las presas, canales de riego y redes de acueductos; la reducción y posterior eliminación de toda fuente de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, la optimización y el correcto uso de las aguas urbanas, la eliminación de las fugas de agua en las redes y en los hogares, y pagar el justo valor por los servicios de agua para acueductos y para canales de riego, porque aquí todos creemos que el agua eternamente debe ser gratis, no obstante ser el recurso natural de mayor importancia para la vida, y como el agua es gratis nadie le da la debida importancia, porque lo gratis nunca es valorado por los usuarios.

Todos los proyectos de presas están detenidos por falta de recursos económicos, excepto la presa de Monte Grande, la cual recibió escasos fondos por las

presiones hechas por los senadores de las 5 provincias del Suroeste, lo que indica que la política gubernamental en materia de agua potable requiere una urgente redefinición.

Si no prestamos atención a esta grave crisis del agua, en poco tiempo veremos conflictos comunitarios e inter provinciales por acceso al agua.

3.3 El racionamiento y el mayor costo del agua escasa

Desde hace casi una década, cuando comenzamos a representar a la República Dominicana en el Programa del Agua de la Red Interamericana de Academias de Ciencias del Continente Americano (IANAS), he-

INAPA: 60% del agua perdida es por averías y mal uso de ciudadanos

El Día. 31 de julio de 2014

En el país se estima que cerca de 60% del agua que se produce se pierde debido a las averías y al mal uso que le dan algunos ciudadanos, según el Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillados (INAPA).

El director de la institución, Alberto Holguín, precisó que de las 56 plantas de potabilización que hay en el país, 14 están en funcionamiento, mientras que unas 20 están en reparación. "Nosotros también tenemos en estos momentos una inversión de 150 millones de dólares, con un programa donde ya el Gobierno dio un avance de seis mil millones de pesos para los alcantarillados de sanitarios en San Fernando, Villa Vásquez de Montecristi, San Cristóbal, Azua y Neiba", indicó.

Dijo que 45% de las inversiones de la institución están actualmente dedicadas al alcantarillado, mientras que en el 2012 sólo se invertía 5% y a su entender se le debe poner atención y pedirle a la dirigencia política y social dedicar más recursos.

mos dicho en los diferentes países latinoamericanos donde nos hemos reunido anualmente que el agua es un recurso natural vital, pero finito, el cual es valorado inversamente proporcional a su abundancia, porque quienes tienen poca agua la valoran mucho y la desperdician poco, pero quienes tienen mucha agua la valoran poco y la desperdician mucho.

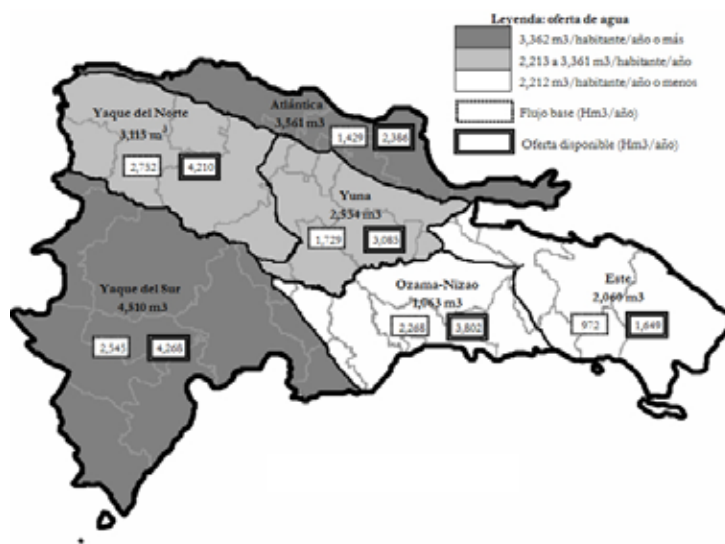
También hemos dicho en cada reunión internacional organizada por la IANAS que el gran desafío de la sociedad de hoy es resolver el extraordinario desequilibrio existente entre el crecimiento geométrico poblacional y la reducción lineal de los caudales de los ríos, desequilibrio que se complica cuando el crecimiento poblacional no va de la mano del saneamiento básico, y en lugar de construir adecuados alcantarillados sanitarios, lo que hacemos es descargar nuestras aguas residuales, domésticas e industriales, a las cañadas, arroyos y ríos urbanos, contaminando los ya disminuidos caudales de nuestras corrientes fluviales y enfermando a nuestra gente.

Hemos dicho que la mayor parte de las personas no sabe de dónde viene el agua, ni mucho menos sabe cuánto cuesta captarla, purificarla y llevarla hasta los hogares, ni le interesa saberlo. Para mucha gente esos datos no son importantes y, ese desconocimiento, es la bruma responsable de que valore tan poco el agua que recibe en sus hogares, conformándose con decir que el Gobierno está obligado a suministrarnos agua potable mediante las redes que llegan hasta nuestros hogares, y que si el Gobierno no lo hace, entonces hacemos huelgas, llamamos a la prensa y presionamos hasta que nos suministren agua. Y problema resuelto.

Por ello hemos planteado reiteradamente –de manera verbal y escrita–, y así consta en la prensa escrita, que los gobiernos suministren de manera gratuita los primeros 150 litros de agua diarios para cada ciudadano, lo que es lo mismo a decir unos 750 litros diarios para cada hogar promedio, y a partir de ahí el volumen de agua adicional consumido sea cobrado muy caro, como forma de obligar a racionar el uso del agua y a disminuir las pérdidas por descuidos en su uso.

Para frenar el desperdicio y el exceso en el consumo de agua, el Departamento Municipal del Agua en Santa Cruz, California, ha decidido que a partir de mayo de 2014 se racionará el suministro de agua, asignando a cada hogar un tope de 28.317 metros cúbicos de agua por mes, equivalentes a 943 litros de

Figura 1. Oferta de agua por regiones



Fuente: ODH/PNUD en base a INDHRI

agua al día, y que quienes se excedan en el consumo deberán pagar recibos penalizados con cantidades de hasta cuatro veces más que la factura mensual –de aproximadamente 40 dólares– que cuesta el agua consumida por debajo del volumen asignado.

3.4 Conflictos por el uso del agua escasa

Desde que en el año 1983 fue completado el Plan Nacional de Investigación, Aprovechamiento y Control de Aguas Subterráneas (PLANIACAS), el país no ha podido articular ningún otro proyecto nacional de exploración, evaluación y correcta planificación del aprovechamiento de las aguas, no obstante que cada día la situación se torna peor en la correlación entre la demanda de agua potable y la disponibilidad del vital líquido.

Es cierto que desde 1995 la República Dominicana no sufría una sequía tan severa como la que sufrió desde diciembre de 2013 hasta el otoño de 2014, pero también es cierto que los dominicanos hemos dejado sedimentar la mayoría de nuestras presas, reduciendo su capacidad de almacenamiento de agua. También, hemos abandonado los programas de estudio, diseño y construcción de nuevas presas; hemos abandonado los programas de corrección de fugas en las redes de acueductos y hoy estamos pagando el alto precio de una de las peores crisis de agua que hayamos sufrido en toda nuestra historia, la cual nos ha encontrado sin preparación.

Durante años hemos estado advirtiendo que nuestra población crece aceleradamente y con ella también aumenta la demanda de agua, pero también hemos estado advirtiendo que los ríos hoy tienen menos caudales que en el pasado y que la escasa agua disponible está cada día más contaminada por el urbanismo, la agricultura, la pecuaria, la industria y la minería. Todo eso ha conducido a graves crisis de abastecimiento de agua, pero nadie en el Gobierno hizo caso y ahora todos se quejan de la falta de agua.

Crisis agua por sequía afecta unos 100 acueductos del INAPA

Hoy. 3 de julio de 2014

Unos 100 (28%) de los 315 sistemas de acueductos de agua potable que atiende el Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillados (INAPA) en 29 de las 32 provincias, están afectados por la fuerte sequía que prevalece en el país en los últimos meses.

Un informe general de la situación, suministrado por el director de Operaciones del Inapa, Nicolás Almonte Garrido, dice que hay acueductos que solo sirven el 50% del agua que entregan en tiempos normales.

En tanto, el Observatorio Nacional del Agua, que encabeza el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI), admite que los productores agrícolas de la región Sur han sido afectados por la racionalización en el suministro de agua a ese sector a tres días, tras la sequía que afecta las presas de Valdesia y Jigüey.

Niveles críticos en embalses que alimentan al Gran Santo Domingo

Diario Libre. 24 de julio de 2014

Con el sistema de la presa de Jigüey a sólo un 3% de su capacidad de abastecimiento de agua útil, y el de la presa de Valdesia a un 11%, los dos sistemas de mayor aporte al abastecimiento de agua del Gran Santo Domingo, el director del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI), Olgo Fernández, se encomendó a Dios y a las lluvias pronosticadas para el fin de semana, esperando que la crisis de agua que afecta al país mejore en los próximos días.

"Lo único que podemos hacer es pedirte a Dios que llueva, expresó Fernández, quien reveló que en el resto del país los niveles de embalses se encuentran a un 34.84%, pero hizo hincapié en el estado de los sistemas que abastecen a Santo Domingo, San Cristóbal y Bani.

la situación nacional se encuentra manejable, y se pueden continuar las actividades vinculadas al riego y la generación, junto con el consumo humano, expresó Fernández, pero persiste la preocupación sobre las tomas antes mencionadas.

El director de la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo (CAASD), Alejandro Montás, consideró como críticos los niveles actuales y anunció que en caso de que se agudice la crisis hay preparado un ajustado plan de distribución de agua.

Casi todas las presas hoy están en sus niveles mínimos operacionales y casi todos los acueductos operan en condiciones muy precarias. Pero no se ve una voluntad gubernamental de afrontar el problema articulando a las diferentes instituciones públicas que administran aguas, ni apropiando fondos para construir nuevas presas.

También habíamos advertido que la crisis de suministro de agua potable produciría conflictos interprovinciales e intermunicipales por la propiedad del agua, y un claro ejemplo acaba de ocurrir hace poco en la comunidad de Sabana Iglesia, vecina a la presa de Bao, donde una multitud de 300 personas tomó por la fuerza la estación de operación del sistema de abastecimiento de agua que va desde las presas de Tavera y Bao hasta los acueductos de Santiago y Moca. Ese sistema en condiciones normales aporta unos 125 millones de galones diarios a Santiago y unos 25 millones de galones diarios a Moca, pero no aporta nada para Sabana Iglesia ni para Baitoa, siendo éstas las comunidades más próximas a ambas presas.

El INDRHI reporta que "todos los embalses del país están en situación crítica"

Diario Libre. 31 de julio de 2014

Todos los sistemas de embalses del país se encuentran en situación crítica. Así lo advirtió ayer el Instituto Nacional de Recursos Hídricos (INDRHI), organismo que lidera el Observatorio del Agua, y en el que semanalmente se evalúan la disposición del líquido en el país y las perspectivas a corto y mediano plazo.

Olgo Fernández, director de la Institución, expuso que pese a que los embalses que alimentan las provincias Peravia, San Cristóbal, Santo Domingo y el Distrito Nacional se encuentran en un mayor estado crítico, "las demás cuencas del país están también en situación crítica. Están en rojo".

Fernández puntualizó que "cuando una cuenca está en rojo, es porque está debajo de su nivel normal y después que baja hay que tenerla en observación, y operarla de manera programada, como se hace en el observatorio". Señaló que los embalses de Taveras y Baja Angostura "hay que reprogramar su nivel de operación, porque han ido bajando. Sabana Yegua, por igual. Sabaneta también, I que indica que el país todavía está afectado por la sequía estacionaria que nos ha golpeado en los últimos meses.

Señalo que esa situación no superará "hasta que no llueva fuertemente, y que las cuentas se empuñen de agua, y que los suelos se saturen, para que la lluvia que caiga pueda drenar en las presas. Eso es lo que estamos esperando que suceda en los próximos días".

La multitud allí congregada cerró la válvula de paso del agua para Santiago y Moca, reclamando que si ellos, que se sienten dueños de esas dos presas, no tienen agua, entonces Santiago y Moca tampoco tendrán agua, lo cual es una grave señal de conflictos por el uso del agua, con el agravante de que cada día estos conflictos serán mayores

4. Cobertura de saneamiento mejorado y metas de los objetivos del milenio

4.1 Saneamiento básico y contaminación de las aguas urbanas en Santo Domingo

La ciudad de Santo Domingo, capital dominicana, con una población cercana a los 3,5 millones de habitantes, y concentrada en unos 300 kilómetros cuadrados, ha crecido aceleradamente, fruto de la migración del campo hacia la ciudad, pero ese crecimiento no ha contemplado los servicios básicos de alcantarillado sanitario. La ciudad está levantada sobre un sistema de terrazas de calizas coralinas muy porosas –que constituyen el principal acuífero del país– y que recibe una recarga neta anual del orden de los mil 100 millones de metros cúbicos de agua de lluvia; desafortunadamente, ante la ausencia de un adecuado servicio de alcantarillado sanitario, toda nueva edificación, torre habitacional, industria, escuela y hospital, disponen de sus desechos sanitarios a través de pozos filtrantes verticales que descargan directamente en las mismas aguas subterráneas que más tarde extraemos a través de pozos vecinos para complementar el precario e intermitente servicio de agua potable, llevándonos a mezclar en nuestras cisternas las aguas potables, servidas a través de las tuberías, con las aguas que extraemos del subsuelo contaminado. Aun sabiendo que esas aguas subterráneas están cargadas de coliformes fecales, nos vemos obligados a cepillarnos y a bañarnos con las mismas aguas que previamente habíamos descargado a través de nuestros inodoros, lo cual debía ser inaceptable en una sociedad organizada y comprometida con la salud y con el saneamiento básico.

Apenas 5% de la población de la capital dominicana dispone de correctos servicios de alcantarillado sanitario, haciendo urgente que el Estado dominica-

no haga las inversiones necesarias en uno moderno para las edificaciones ya construidas, lo cual podría implicar una inversión cercana a los 2 mil millones de dólares. Al mismo tiempo se requiere del establecimiento y aplicación de una rígida normativa que obligue a los desarrolladores de nuevos proyectos habitacionales a proveerse de sus propios sistemas de alcantarillados sanitarios y sus respectivas plantas de tratamiento de aguas servidas, lo cual debe ser estrictamente controlado por el Ministerio de Medio Ambiente y por el Ministerio de Salud Pública, como forma de resolver el problema en un plazo no mayor de 12 años, equivalentes a tres períodos de gobiernos.

En los cuadros 10 y 11 se puede ver que para el año 2007, 84.5% de la población urbana dominicana disponía de cobertura de saneamiento mejorado, y para 2014 se estima en igual nivel, coincidiendo con la meta de los Objetivos del Milenio en el sentido de que, para 2015, 84.9% de la población urbana disponga de cobertura de saneamiento mejorado.

4.2 Agua potable y alcantarillado en el Nuevo Boca de Cachón

El agua potable y el saneamiento básico (alcantarillado sanitario y plantas de tratamiento) deben ser los dos brazos de un mismo cuerpo urbano. Atendiendo a esa realidad, la Dirección General de Comunicación de la Presidencia de la República Dominicana

Turba cierra válvula y deja sin agua a Moca y Santiago

El Caribe. 30 de julio de 2014

Una turba que reclama el servicio de agua potable para el municipio de Sabana Iglesia cerró la válvula en la obra de toma en la presa de Tavera, dejando sin el líquido a comunidades de Moca y Santiago.

Aproximadamente 300 personas residentes en Sabana Iglesia se dirigieron a la obra de toma, inhabilitaron al operador, y cerraron la válvula que permite el abastecimiento de agua a Santiago y Moca.

Mediante un comunicado, la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Moca (Coramoca) informó que esa ciudad apenas recibe 100 litros de agua por segundo.

La crisis de agua en comunidades que apenas reciben el líquido de forma interrumpida, se agudizó, pues la mayoría no le dio tiempo a abastecerse. Sugieren que se haga el traspaso para que el suministro de agua sea asumido por la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santiago (Corasaan) en vez del Inapa, como sucede en la actualidad.

na informó el sábado 26 de abril de 2014 que el nuevo poblado de Boca de Cachón, inaugurado esa misma semana para reubicar al viejo poblado de Boca de Cachón, inundado por las crecidas del Lago Enriquillo, y que anteriormente estaba ubicado en una planicie situada a 28 metros por debajo del nivel medio del mar, es hoy la única ciudad dominicana que no contamina las aguas superficiales ni subterráneas por disponer de un sistema de alcantarillado sanitario y de una planta de tratamiento de aguas servidas. Esto confirma que las autoridades dominicanas están conscientes de que los servicios de agua potable y saneamiento básico deben ir de la mano en todos los núcleos urbanos, y que cada día se hace más obligatorio que los gobiernos hagan las inversiones necesarias para proveer estos servicios a todas las comunidades, pues de lo contrario el problema será cada día mayor y las soluciones serán cada día más complejas, más traumáticas y más costosas.

4.3 Descontaminación de ríos urbanos de la Capital dominicana

En el mismo 2014, el Ministro de la Presidencia dominicana, Gustavo Montalvo, dio apertura a un seminario-taller organizado con el propósito de unificar criterios y esfuerzos en pro de la sostenibilidad ambiental de las cuencas de los ríos Ozama e Isabela, principales ríos de la ciudad de Santo Domingo, a fin de garantizar una intervención oficial integral en las cuencas hidrográficas de estos contaminados ríos localizados al norte y al noreste de la ciudad de Santo Domingo. Ahí hay una gran concentración habitacional de muy escasos recursos económicos que, por carecer de servicios básicos, han convertido a estos dos ríos en cloacas urbanas.

Gustavo Montalvo dejó claro que “en el Gobierno de Danilo Medina, estamos decididos a convertir la previsión y la planificación en ejes fundamentales de las políticas públicas. Porque un nuevo modelo de desarrollo solo es posible si pensamos en el largo plazo, en la sostenibilidad y dejamos atrás el cortoplacismo y la improvisación, que están en la raíz de muchos de nuestros retos actuales. Incluidos los problemas de la expansión urbana en las cuencas del Ozama y el Isabela”. El Ministro fue enfático al decir que “ha llegado el momento de que estas comunidades se integren a este gran proyecto de desarrollo nacional, con un plan unificado que asegure la pre-

servación y protección de la cuenca desde su nacimiento a la desembocadura en el mar. Un programa integral que incluya el saneamiento de sus aguas, el mejoramiento de la vida de los asentamientos humanos y la preservación y protección de la riqueza cultural”.

4.4 Ayuda a la población para el manejo del agua y los desechos

La vicepresidenta de la República, doctora Margarita Cedeño de Fernández, junto a Alianza ONG, inició en la ciudad de El Seibo un importante proyecto para proveer de agua potable y de saneamiento básico a un sector de esa ciudad, cuyo objetivo básico es crear capacidades humanas que permitan mejorar la calidad de vida de la población en alto riesgo de contraer enfermedades por el uso de prácticas inadecuadas en el manejo de sus excretas, lo cual puede contaminar las mismas aguas que ellos consumen. Ese importante proyecto de educación hídrica y sanitaria alcanzaría unos 18 mil hogares de las provincias de El Seibo, Pedernales, Elías Piña, Independencia, Montecristi, San José de Ocoa, San Juan de la Maguana,

CAASD presenta Plan Maestro de Alcantarillado Sanitario de Santo Domingo y su Provincia

La Información. 4 de diciembre de 2012

Más de 3 millones de habitantes del Gran Santo Domingo tiene un servicio de tratamiento de aguas residuales que no funciona adecuadamente, reveló un estudio presentado por la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo (CMSD).

El arquitecto Alejandro Montas, al presentar la investigación denominada “Plan Maestro del Alcantarillado Sanitario de Santo Domingo y su Provincia,” informó que solo un 5% de esa población tiene cobertura del sistema de Alcantarillado Sanitario.

El director de la CMSD manifestó que el estudio fue realizado por la firma consultora Hazen And Sawyer, con el financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Reveló que el 95% de la población envía sus descargas sanitarias al subsuelo a través de pozos filtrantes, y a través de cañadas y ríos que llegan al mar Caribe.

El arquitecto Montas destacó la importancia del estudio y señaló que el mismo constituye el primer paso que permite al Gobierno disponer de una herramienta con soluciones viables que facilitará la toma de decisiones para construir un nuevo sistema de alcantarillado sanitario y pluvial.

Agregó que el Plan Maestro permitirá el saneamiento del Gran Santo Domingo y ayudará a la descontaminación de los ríos Ozama, Isabela, Haina y el litoral Sur en el mar Caribe.

Barahona, Monte Plata, San Cristóbal, Santo Domingo, Distrito Nacional y Santiago, lo que responde a los resultados de un Estudio Socioeconómico de Hogares –realizado en el año 2012– que revela que en 402 mil 32 hogares dominicanos las personas usan letrinas como sistema de disposición de las excretas, y que unos 52 mil 35 hogares no disponen de ningún tipo de servicio sanitario.

El mismo estudio también concluye que en las 13 provincias priorizadas –arriba citadas– hay 70 mil 445 hogares que carecen de servicios de agua potable, por lo que deben abastecerse de agua a través de camiones cisterna, de lluvia, canales, manantiales y otras fuentes diversas.

5. Aunque el problema es global, cada país debe buscar soluciones

La Organización Mundial de la Salud (OMS), a través de su Dirección de Salud Pública y Medio Ambiente, ha presentado sus recientes estadísticas mundiales sobre los progresos en materia de acceso a servicios de agua potable y saneamiento básico, exponiendo que cerca de 2 mil 500 millones de personas en el mundo no tienen acceso a instalaciones de saneamiento básico. Eso indica que un tercio de la población mundial tiene serios problemas con la disposición final de sus excretas contaminantes, siendo ésta la principal

causa de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas en todo el mundo.

La ausencia total de estos servicios de saneamiento básico está directamente relacionada con la proliferación de enfermedades como el cólera, la diarrea, la disentería, la hepatitis A y la tifoidea, cuyos costos de tratamiento e indirectos por ausentismo laboral son muy superiores a los costos inherentes a la instalación de los servicios de saneamiento. Por ello, cada uno de los países afectados por esta problemática debe hacer las inversiones necesarias para garantizar que gradualmente toda la población sea provista de los servicios sanitarios básicos.

En ese orden de ideas, la OMS reconoce que Ecuador, Honduras y Paraguay han hecho importantes inversiones para mejorar el acceso de la población a instalaciones de saneamiento, con las cuales han logrado 25% más de cobertura desde principios de los años noventa; sin embargo, Bolivia y Haití siguen siendo los países que en la región de Latinoamérica y el Caribe muestran las más bajas tasas de acceso a los sistemas de servicios sanitarios, requiriéndose que los organismos internacionales prioricen las inversiones y los préstamos para ampliar las coberturas de saneamiento, y que los gobiernos nacionales y locales hagan lo mismo, pues sólo así se podrá erradicar la mala práctica contaminante de defecar al aire libre. Aun en el libro de Deuteronomio, 23:13, quinto libro del Antiguo Testamento, escrito posiblemente unos 3 mil 500 años atrás, dice claramente que cuando fueres al campo a hacer tus necesidades

Tabla 10. Cobertura de saneamiento mejorado (inodoro y letrina privada con cajón)

Zona	1996	2002	2007
Urbana	69.8	78.2	84.5
Rural	53.3	68.9	70.8
Total	64.2	74.9	80.3

Fuente: ENDESA 1992, 2002 y EDESA 2007.

Tabla 11. Meta: reducir a la mitad la población sin acceso a un saneamiento mejorado (en porcentaje)

Zona	1996	2002	2007	2015		Esfuerzo de crecimiento	
				Esperado	Meta	de tendencia	Necesario
Urbana	30.2	21.8	15.51	9.5	15.1	-5.88%	-0.33%
Rural	44.7	31.1	29.2	21.4	22.3	-3.80%	-31.10%
Total	35.8	25.1	19.7	12.7	17.9	5.29%	-1.19%

Fuente: ENDESA 1992, 2002 y EDESA 2007.

fisiológicas deberás llevar una vara para cavar y enterrar tus excretas, lo que indica que desde hace más de tres milenios se conocía que las excretas dejadas al aire libre son contaminantes.

La OMS destaca que Latinoamérica y el Caribe tienen la tasa más alta de cobertura de agua potable entre las regiones en desarrollo al alcanzar 94% de cobertura de servicios de agua, no obstante que en el mundo hay un total de 748 millones de personas que no tienen acceso a fuentes de agua segura, es decir, 10% de la población mundial carece de servicios de agua, y debe ser una prioridad de los países ricos el ayudar a los países pobres a concentrar inversiones en proyectos que aumenten los servicios de agua potable.

En materia de acceso a los servicios de saneamiento básico y servicios de agua potable para el consumo humano, la OMS establece que los progresos latinoamericanos más notables a partir de 1990 corresponden a Paraguay con 33 y 35% respectivamente; Honduras con 30 y 26%; Guatemala con 28 y 29%; México alcanzó 21 y 19%; Colombia tuvo 18 y 16%; Chile tuvo una mejora de 18 y 15% respectivamente; y la República Dominicana apenas logró 17 y 9%, respectivamente, siendo el país que menos avanzó en ese grupo.

El informe de la OMS refleja que en los últimos 22 años una tercera parte de la población mundial (2 mil 300 millones de personas) ganó acceso al agua potable apta para el consumo humano, mientras que 2 mil millones de personas alcanzaron medios dignos de saneamiento básico, lo cual muestra un importante avance, que si bien no es suficiente, demuestra al menos un compromiso con la búsqueda de soluciones a estos dos graves problemas sociales.

A principios de los años 90, en términos de agua potable, 95% de los residentes urbanos tenía acceso

al suministro de ese servicio básico, mientras que solamente 62% de los residentes en zonas rurales disponía de servicio agua; sin embargo, 22 años después, esos porcentajes han pasado a 96% en la zona urbana y a 82% en las zonas rurales, lo que demuestra que en éstas hemos tenido mayores avances relativos que en las zonas urbanas, aunque estas últimas siguen teniendo mayor cobertura neta.

6. Mayor inversión estatal en agua potable y saneamiento básico

En la República Dominicana se requiere, con carácter de urgencia, una mayor inversión estatal para proveer de agua potable y de saneamiento básico a la población creciente, ya que la población, ligeramente superior a los 10 millones de habitantes, se incrementa de forma acelerada y desordenada, a lo que se suma una migración haitiana cada vez mayor, presionada por organismos internacionales que entienden que en la República Dominicana hay mejores condiciones de vida para una parte de los vecinos haitianos. En consecuencia, se incrementan las presiones en las demandas de agua potable, al mismo tiempo que se requieren mayores servicios de saneamiento básico.

En vista de que el Estado admite no disponer de suficientes recursos económicos para enfrentar el problema del saneamiento básico, hemos elaborado un anteproyecto de ley para facilitar que el Estado dominicano y el sector privado se asocien para construir alcantarillados sanitarios sectoriales y sus respectivas plantas de tratamiento de aguas servidas.

Colaboradores

Arquitecto Alejandro Montás, Director Ejecutivo de la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo, CAASD. Ing. Luis Salcedo, Sub Director de Operaciones de la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo, CAASD.

7. Conclusiones

1. La ciudad de Santo Domingo, capital dominicana, que usualmente recibe unos 400 millones de galones de agua diariamente, ha visto reducir esos caudales en 25%, fruto de la larga sequía que se ha extendido desde noviembre de 2013 hasta julio de 2014, creando una aguda crisis de abastecimiento de agua potable para los 3.5 millones de habitantes de la capital.
2. La gravedad de la crisis de agua potable en la ciudad de Santo Domingo ha obligado a reducir el suministro de agua para riego en el canal Marcos A. Cabral, el cual se ha sido reducido de siete días a la semana a tan sólo uno, lo que si bien es cierto que es una medida correcta porque el primer uso del agua debe ser el consumo humano, afecta la producción de alimentos para la misma población y empeora las condiciones de vida de mucha gente que depende de la agricultura.
3. La crisis de abastecimiento de agua potable ha provocado preocupantes conflictos intermunicipales, ya que la gente que reside en las inmediaciones de las presas de Tavera y Bao entienden, con justa razón, que ellos deben ser tomados en cuenta en la distribución de esas aguas que siempre les pertenecieron, pero que ante la escasez de hoy día, esas aguas son priorizadas para importantes y lejanos núcleos urbanos, mientras los vecinos inmediatos se mueren de sed.
4. Las aguas urbanas de Santo Domingo, Santiago y las demás ciudades del país cada día están más reducidas en sus caudales y más contaminadas por las descargas directas de los vecinos que carecen de servicios de saneamiento básico, así como por las no tratadas de las industrias cercanas a ríos y arroyos, lo que presenta un cuadro preocupante para el presente y para el futuro de las aguas urbanas en Santo Domingo.
5. El crecimiento de la población dominicana, sumado a la creciente migración de ciudadanos haitianos que buscan mejores condiciones de vida, presiona los precarios servicios de agua potable y saneamiento básico, agravando el problema.
6. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, en materia de acceso a los servicios de saneamiento básico y servicios de agua potable, en los últimos 22 años la República Dominicana apenas logró una mejoría de 17 y 9% respectivamente, muy por debajo de países como Paraguay, Honduras y Guatemala.
7. Mientras en las grandes ciudades de la República Dominicana –principalmente Santo Domingo y Santiago– el agua escasea, fruto de una larga sequía, las comunidades situadas alrededor del Lago Enriquillo se han visto inundadas por las extraordinarias crecidas que llevan siete años ininterrumpidos, sin que el Estado haya ideado una solución para el correcto aprovechamiento de esas aguas.

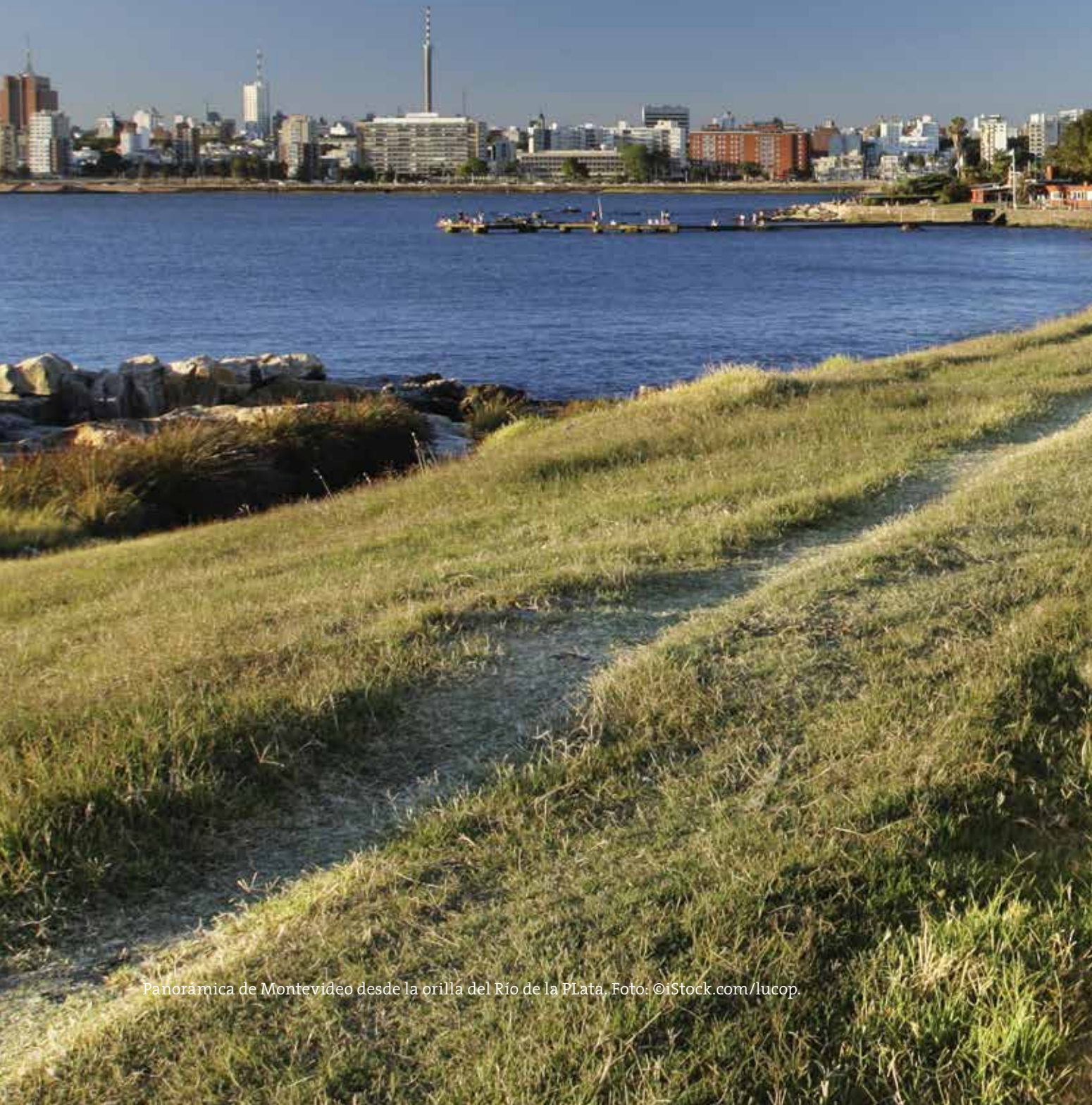
8. Recomendaciones

Es urgente que el Estado dominicano haga importantes inversiones económicas para garantizar un completo servicio de agua potable y el saneamiento básico, siendo necesario que la comunidad internacional y el empresariado dominicano hagan aportes económicos para contribuir a la solución del grave problema que cada día se complica más y más.

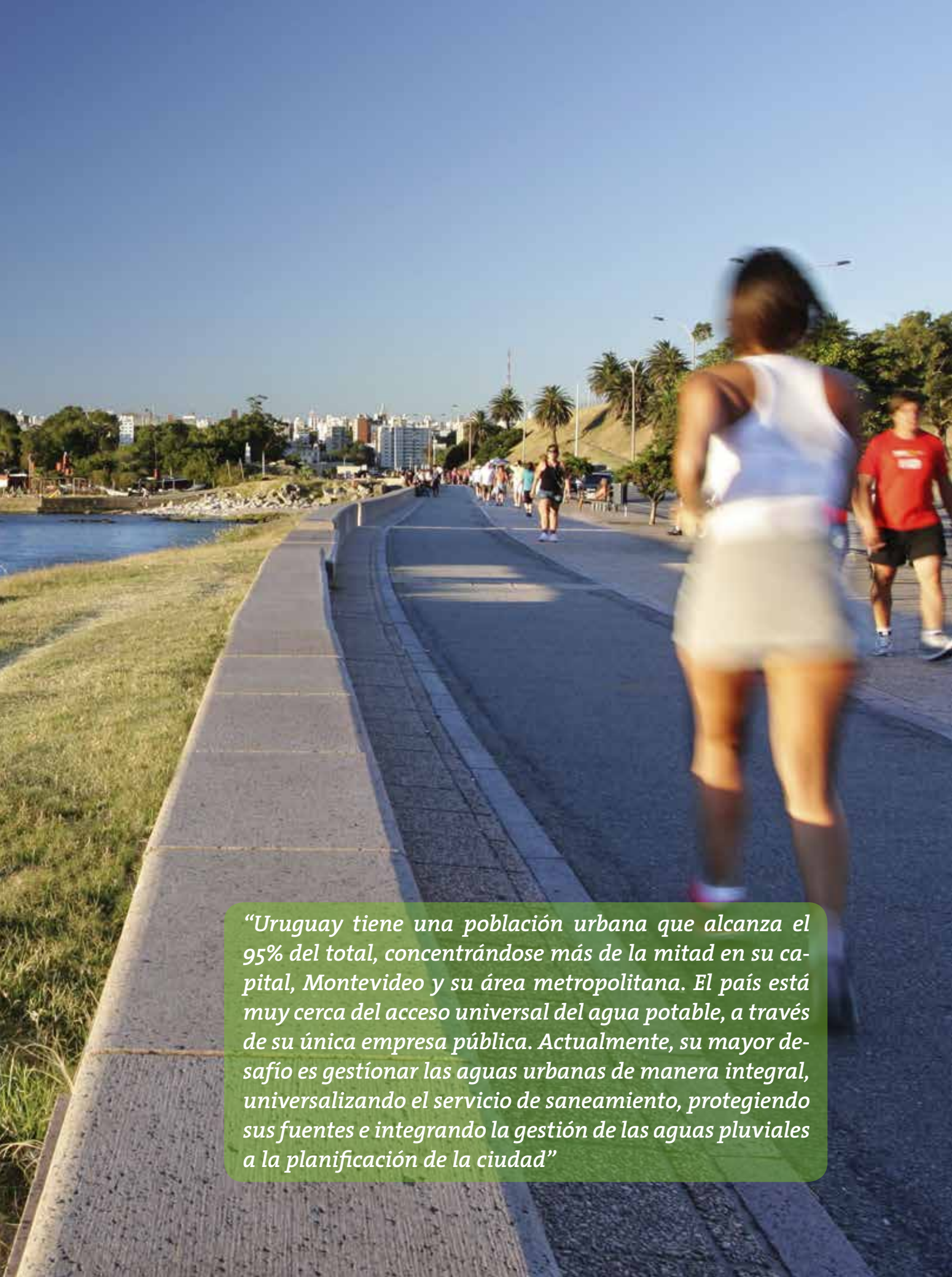
La ciudad de Santo Domingo, que ha crecido sin un adecuado servicio de alcantarillado sanitario, requiere la inversión de unos 2 mil millones de dólares para la construcción de un moderno sistema de alcantarillado sanitario, inversión que debe ser iniciada cuanto antes y terminada en no más de 12 años.

Es necesario promulgar una ley que obligue a los tres próximos gobiernos –de 4 años cada uno– a priorizar inversiones en materia de agua potable y saneamiento básico, con especial énfasis en las inversiones que garanticen que toda la ciudad capital sea provista del necesario servicio de alcantarillado sanitario.

Uruguay



Panorámica de Montevideo desde la orilla del Río de la Plata. Foto: ©iStock.com/lucop.



“Uruguay tiene una población urbana que alcanza el 95% del total, concentrándose más de la mitad en su capital, Montevideo y su área metropolitana. El país está muy cerca del acceso universal del agua potable, a través de su única empresa pública. Actualmente, su mayor desafío es gestionar las aguas urbanas de manera integral, universalizando el servicio de saneamiento, protegiendo sus fuentes e integrando la gestión de las aguas pluviales a la planificación de la ciudad”

Aguas urbanas en Uruguay: Avances y desafíos hacia una gestión integrada

Adriana Piperno, Federico Quintans y Daniel Conde
Coordinación y edición

Álvaro Capandeguy, Adriana Piperno, Federico Quintans, Pablo Sierra, Julieta Alonso, Christian Chreties, Alejandra Cuadrado, Andrea Gamarra, Pablo Guido, Juan Pablo Martínez, Néstor Mazzeo, María Mena, Nicolás Rezzano, Gabriela Sanguinet, Javier Taks, Guillermo Goyenola, Elizabeth González, Julieta López, Amancay Matos, Osvaldo Sabaño, Carlos Santos, Matilde Saravia, Luis Silveira, Rafael Arocena y Luis Aubriot

Resumen

En el contexto de América del Sur, Uruguay es un país pequeño con un territorio suavemente ondulado y una densa red hídrica homogéneamente distribuida, y el promedio de precipitaciones es de 1 mil 300 mm anuales, sin estacionalidad definida. La población urbana alcanza 95% de la población total (3 millones 390 mil 77 habitantes), concentrándose más de la mitad en el área metropolitana de Montevideo, su capital. El país presenta un bajo crecimiento poblacional y una transición urbana consolidada (población urbana en 1963: 81%).

El marco regulatorio del país avanza hacia una integración del agua, el ambiente y el territorio. Prueba de ello es la reforma del Artículo 47 de la Constitución, que establece que la protección del ambiente es de interés general y que el acceso al agua potable y al saneamiento constituye derechos humanos fundamentales. La regulación e implementación de dicho marco regulatorio es aún parcial.

Uruguay está próximo a la universalización en el acceso al agua potable por medio de su único operador público: la OSE. El desafío se encuentra actualmente focalizado en proteger las fuentes de agua, cubrir a los pequeños núcleos de viviendas rurales y reducir las pérdidas. Por su parte, si bien la cobertura de saneamiento es alta, los desafíos se focalizan en aumentar la cobertura de los servicios de alcantarillado, el tratamiento de aguas residuales y las conexiones domiciliarias, e indagar en siste-

mas alternativos al alcantarillado que permitan dar servicio a zonas de difícil acceso.

En cuanto a la gestión de sus aguas pluviales, los problemas de drenaje pluvial afectan tanto a capitales departamentales como a pequeñas localidades. Más de 60 centros poblados son afectados por problemas de drenaje urbano, siendo 70% de los casos considerados medios o graves, los desafíos están focalizados en mejorar y desarrollar la planificación y en la incorporación de tecnologías más sustentables.

Las inundaciones son el principal factor de activación del Sistema Nacional de Emergencias. Las ciudades con problemas de inundaciones se distribuyen homogéneamente en el país. El desafío se encuentra actualmente en la incorporación de los mapas de riesgo a los planes locales, la revalorización de las riberas de los ríos y la mejora en los sistemas de monitoreo y alerta.

En Uruguay se están promoviendo cambios, desde visiones sectoriales a una visión más integradora de las aguas urbanas. Esto se traduce en un proceso no lineal de transformaciones multiactorales y dinámicas, con grandes potencialidades y no exento de dificultades. Mejorar la cobertura y el acceso de todos a los servicios del agua, incorporar las aguas a la planificación del territorio, mejorar la calidad y acceso de la información para la toma de decisiones, adecuar el sistema de gobernanza, fortalecer las capacidades técnicas y el fomento de enfoques interdisciplinarios y ámbitos transversales son cuestiones ineludibles actualmente para una gestión sostenible de las aguas urbanas en Uruguay.

1. Introducción

Este capítulo propone, desde un enfoque interdisciplinario, identificar y sistematizar sintéticamente las principales problemáticas de las aguas urbanas en Uruguay: cómo afectan la calidad de vida en las ciudades, cuáles son las causas que la generan y cuáles son los procesos que, de no actuarse sobre ellos, agudizarán los problemas. Se hace énfasis asimismo en la identificación de los motores de transformación hacia modelos sustentables.

Para su realización se convocó, desde la Academia de Ciencias de Uruguay (por invitación del Programa Aguas de IANAS –Interamerican Network of Academies of Sciences) y el Grupo de Trabajo Aguas

Urbanas de PHI-LAC (Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe, de UNESCO), a un grupo amplio de especialistas vinculados a la temática específica, en un esfuerzo por generar una línea de base para dar continuidad a la coordinación técnico-científica en la materia y generar conocimiento integral.

1.1 Enfoque conceptual del trabajo

La calidad de vida en las ciudades, donde la urbanización ha modificado significativamente las características naturales del ciclo hidrológico, depende en gran medida de la gestión de sus aguas. El uso intensivo del recurso, particularmente por las infraestructuras requeridas para su uso y disposición final, han complejizado su dinámica, generando particularidades que conforman el denominado ciclo hidrológico urbano (Marsalek *et al.*, 2008).

Las aguas superficiales y subterráneas, de abastecimiento (agua potable para la población y agua bruta para usos no domésticos), residuales y de lluvia, interactúan entre sí, impactan y son impactadas por la ciudad. La histórica falta de una comprensión integral de las aguas urbanas y de ellas con su territorio deviene en políticas, obras y estructuras de gestión con escasa vinculación entre sí, convirtiéndose en una de las principales causas de los problemas identificados en el Uruguay e internacionalmente (Piperno y Sierra, 2013).

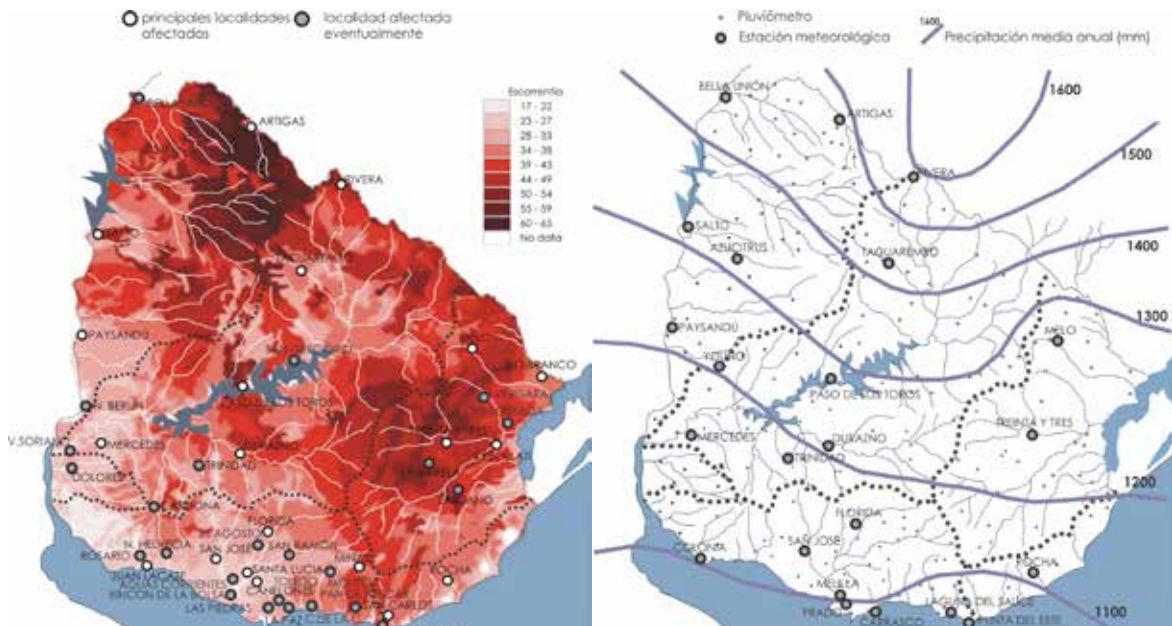
En este capítulo se aborda en primera instancia la comprensión de cómo se llega a la actual situación, cuál es el desarrollo de cada subsistema del ciclo hidrológico urbano y sus principales desafíos, y cómo está conformado el sistema de gobernanza de las aguas urbanas, para finalmente presentar lo que se entiende son los principales desafíos en el país.

1.2 Características generales de Uruguay

La población urbana en Uruguay¹ (3 millones 390 mil 77 habitantes; INE, 2011) alcanza 95%, concentrándose más de la mitad en el área metropolitana de Montevideo, su capital. Existen solo tres ciudades

1. Se considera población urbana (según criterios del Instituto Nacional de Estadística -INE), aquella población que reside en toda porción del territorio que, desde el punto de vista censal, se encuentra definida como área amanzanada con al menos 10 viviendas.

Figura 1. Esguerrimiento medio (mm/mes) (izquierda) y precipitación media anual (mm) (derecha) en Uruguay



Fuente: Elaboración ITU (Instituto de Teoría y Urbanismo, Facultad de Arquitectura) a partir de datos del IMFIA (Instituto de Mecánica de Fluidos e Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería) y la Dirección Nacional de Meteorología.

próximas a los 100 mil habitantes y el resto son ciudades medias y centros poblados pequeños. El país presenta un bajo crecimiento poblacional² (INE, 2011) y una transición urbana consolidada (población urbana en 1963: 81%).

En el contexto de América del Sur, Uruguay es un país pequeño (176 mil km² de superficie terrestre), con un territorio suavemente ondulado y una densa red hídrica, homogéneamente distribuida. El promedio de precipitaciones es de 1 mil 300 mm anuales, sin estacionalidad definida (Fig. 1).

El Producto Bruto Interno de Uruguay es de 49 mil millones de dólares (US\$ 13 mil 500 por habitante), lo que lo ubica entre los países de ingresos altos según el Banco Mundial. La última década, luego de una fuerte crisis económica (2002), se ha caracterizado por un crecimiento económico constante (5,5% promedio en los últimos 10 años), lo que ha repercutido en el nivel de empleo (6% de población desempleada en 2013). La esperanza de vida al nacer es de 76 años, con altos niveles de escolarización (casi 100% de inscripción neta en primaria y casi 70% en secundaria, según el Banco Mundial), y con 62% de

los hogares con conexión a Internet (ver: <http://datos.bancomundial.org>).

2. Desarrollo histórico de las aguas urbanas en Uruguay

Las distintas sociedades reproducen las estructuras heredadas y le imprimen su carácter, condicionando a su vez las transformaciones futuras. Así, cada época moldea las ciudades, las que a su vez condicionan la forma de vida en las mismas. Para entender la relación de la ciudad y el agua es necesario comprender los paradigmas ambientales y urbanos de cada época, que materializan las diferentes miradas sobre la ciudad, las necesidades de sus habitantes y la forma de entender el entorno.

En este contexto es posible reconocer algunos momentos singulares que caracterizan a la ciudad y su relación con las aguas. Primeramente, el proceso fundacional de las ciudades en América Latina está marcado por la impronta de los imperios de España y Portugal, que se plantearon “hacer del mundo

2. La tasa de crecimiento es de 0.19% anual (Censo INE 2011).

americano (al que consideraban vacío) un mundo de ciudades”, a semejanza del europeo (Romero, 2009). El agua jugó un papel determinante en el modelo de ocupación territorial, siendo considerada dualmente como fuente (fundamentalmente agua dulce) y sumidero de residuos.

Las ciudades ubicadas sobre los ríos se fueron conformando en su gran mayoría dando su “cara posterior” a los cursos de agua y concentrando los servicios, equipamientos y población con eje en las calles principales y las plazas centrales como lugares simbólicos. Los servicios de agua potable se organizaban en un sistema de aljibes y la evacuación se hacía en superficie o a través de sistemas individuales de pozos que terminaban vertiendo en los cursos de agua próximos.

El proceso de industrialización, expansión y densificación acelerado de las ciudades a partir del siglo XVIII, sin consideraciones sanitarias, transformó a las aguas contaminadas en fuente de transmisión de enfermedades, afectando la calidad de vida de la población, tanto de las nuevas clases asalariadas como de la nueva burguesía. Como respuesta, surge en Europa una corriente que asocia salud y desarrollo urbano, denominado “modelo higienista”, que plantea la visión de una ciudad saludable, asociada a la ejecución de grandes obras. Montevideo en particular no fue ajeno a esta problemática, incorporando las “soluciones” desarrolladas en Europa, tanto en materia de infraestructuras como de diseño de parques y jardines. En este contexto, en la segunda mitad del siglo XIX, se genera un proceso de modernización de los servicios urbanos. Las ciu-

dades fueron dotadas de saneamiento, agua potable, electricidad, ferrocarriles y tranvías. Montevideo fue la primer ciudad de América del Sur en contar con una red de saneamiento (cloacas). Entre 1854 y 1916 fueron construidos 211 km de colectores (red Artega), aunque las conexiones particulares no fueron obligatorias hasta 1913. El interior del país comenzó posteriormente este desarrollo.

En cuanto al agua potable, la sequía de 1867 detonó la decisión de dar servicio de agua permanente a Montevideo, eligiéndose el Río Santa Lucía como fuente de abastecimiento. El servicio estuvo en manos de concesionarios desde 1871 a 1950, cuando el Estado lo toma a su cargo. En 1952 se crea la Administración de las Obras Sanitarias del Estado (OSE), que desde ese entonces tiene a su cargo la prestación del servicio de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas servidas en el Interior, quedando Montevideo en la órbita de la Intendencia Municipal. El modelo higienista llevó a la revalorización de los parques urbanos, con el agua como elemento estructurante. Paradigmático es el desarrollo del Parque del Prado en Montevideo, integrando el Arroyo Miguelete a su diseño y las obras de la Sección de Embellecimiento de Pueblos y Ciudades del Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

Progresivamente se fue materializando la ciudad de la modernidad, donde todas las aguas urbanas, los pequeños cursos naturales, las redes de saneamiento y la colecta de pluviales, deberían transitar ocultas bajo tierra (Fig. 2).

Durante el siglo XX se acentúa el proceso de expansión urbana con fraccionamientos formales e in-

Figura 2. Arroyo Miguelete en Montevideo. Visita a la Red Artega hacia 1900.



Fuente: Centro de Fotografía (Intendencia de Montevideo).

Figura 3. Amanzanado de la ciudad de Salto en 1892 (Ing. Agrim. T. Herrán). Se evidencia el desconocimiento del curso natural del Arroyo Sauzal, al Norte de la ciudad.



Fuente: Arq. L.Vlaeminck.

formales, que ignoraron los cursos menores de agua (Fig. 3). Con posterioridad se demandaron al Estado las infraestructuras urbanas ausentes. Los bordes sobre los cursos mayores, dependiendo de las características particulares de cada ciudad, se constituyeron en un frente urbano apetecible para la residencia o se consolidaron, como prevalece en las ciudades medias del Uruguay, como otra periferia “pobre” donde se asientan los sectores de menores recursos, ocupando las planicies de inundación.³

La crisis estructural en la que ingresó el país a partir de la década de 1960 (luego de varias décadas de crecimiento) implicó nuevas modalidades de asentamiento territorial, con crecimientos irregulares en sectores sin servicios, que ocuparon los bordes y planicies de inundación de los cursos urbanos. La capacidad de inversión pública decreció fuertemente, emergiendo problemas asociados a la inadecuación de las infraestructuras existentes, las dificultades para la construcción de nuevas obras y la falta de integración del agua en el diseño de soluciones urbanas integrales.

3. Si bien la Ley de Centros Poblados (N° 10.723 de 1946) exige la no inundabilidad de predios y la provisión de servicios por parte de los fraccionadores privados para la efectiva urbanización, la incapacidad de llevarlo a la práctica genera ciudades extendidas y carentes de servicios.

En la última década, la estabilidad económica e institucional de Uruguay ha permitido generar avances en los servicios e infraestructuras en las ciudades. Por otra parte, se introducen progresivamente nuevas visiones de gestión de las aguas urbanas.

3. Abastecimiento de agua potable en áreas urbanas

En Uruguay, 98% de la población nucleada se abastece del servicio de agua potable, con un consumo promedio de 130 litros/hab/día (ver: www.ose.gub.uy). Estando el servicio de acceso a agua potable mediante redes en centros urbanos prácticamente universalizado, el desafío en cuanto a la cobertura pasa a estar en la extensión del servicio a los pequeños núcleos de viviendas rurales. Para alcanzar los Objetivos de Desarrollo del Milenio, la OSE tiene previsto para el año 2015 llevar el servicio a 28 mil habitantes nucleados en poblaciones rurales dispersas en todo el país, tanto de forma individual como colectiva (ver: <http://www.ose.com.uy/>).

3.1 Cobertura de agua potable a nivel urbano

La cobertura del agua potable en las áreas urbanas de Uruguay es una de las más altas del continente (Rojas, 2014). La misma ha tomado como principal indicador la disponibilidad de agua potable por redes generales de distribución con cañería dentro de la vivienda. El país ha utilizado también en los últimos años (al igual que varios países) otros indicadores que no diferencian si se dispone de agua potable dentro o fuera de la vivienda y que utilizan la definición de fuentes mejoradas. Se ha adoptado la definición de que se cuenta con un servicio con fuentes mejoradas si: i) el origen del agua es una red general de suministro de agua potable, o ii) el origen es un pozo surgente protegido.

Un aspecto a señalar es que la alta tasa de cobertura de este servicio en el país es histórica. En el año 1996, 83% de la población relevada a nivel urbano contaba con agua potable a través de redes públicas con conexión dentro de la vivienda. Actualmente, según datos del Censo de 2011, 96% de la población relevada cuenta con cobertura de red general dentro de la vivienda y 99.4% con una fuente de agua mejorada dentro o fuera de la vivienda.

3.2 Prestación del servicio agua potable por redes

La prestación del servicio de agua potable por redes a la población permanente lo realiza principalmente la OSE (más de 99,5% de la población servida por redes). El servicio se presta de acuerdo a lo que establece el Artículo 47 de la Constitución de la República y la Ley de creación de la OSE, anteponiendo las razones de orden social a las de orden económico. Algunos datos referidos a la OSE se presentan en la Tabla 1.

La OSE cuenta con una tarifa social con el fin de favorecer la asequibilidad al agua potable a los pobladores más pobres y los que viven en asentamientos marginales y cumplan determinadas condiciones. Se otorgan subsidios para consumos de 10 o 15 m³ según el caso y bonificaciones. La empresa también tiene un plan de acción para favorecer el acceso al agua potable a través de la extensión del servicio principalmente en asentamientos irregulares (ver: www.ose.com.uy).

También existen otras instituciones con aportes importantes al acceso al agua potable de los grupos más desfavorecidos a nivel urbano: el Programa de Mejoramiento de Barrios (PMB-PIAI), de regularización de asentamientos y mejoras a los barrios en que se insertan los grupos; el Plan Juntos, con acciones sociales; sobre el hábitat de personas en situación de extrema pobreza y precariedad habitacional los Programas de Viviendas del Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOT-MA), entre otros (Rojas, 2014).

El servicio de agua potable que presta la OSE no recibe ningún tipo de subsidio ni exoneraciones

impositivas, por lo que las inversiones que realiza deben ser asumidas a partir de la recaudación por la prestación de sus servicios. Gracias a que la prestación del servicio de agua potable resulta superavitaria, parte de lo recaudado por dicho concepto es utilizado para invertir en obras de saneamiento, el cual en sí es deficitario.

3.3 Fuentes de agua

Disponibilidad

El Artículo 47 literal c de la Constitución de la República estipula que la Política Nacional de Aguas está basada en “el establecimiento de prioridades para el uso del agua por regiones, cuencas o partes de ellas, siendo la primera prioridad el abastecimiento de agua potable a poblaciones”.

Aguas superficiales. Uruguay tiene una extensa red hidrográfica, así como un nivel promedio de lluvia anual en el entorno de 1 mil 300 mm, y una distribución mensual y territorial sumamente uniforme. Sin embargo, la disponibilidad de agua dulce para la potabilización convencional tiene algunas limitantes. Entre éstas se puede mencionar que en las costas sobre el Océano Atlántico se constata intrusión de aguas salinas en cursos de agua, así como una importante variabilidad climática, con períodos de sequía frecuentes con caudales muy inferiores a los promedios mensuales. Esta situación motiva que sea necesario proceder, en muchos casos, a la construcción de embalses (la OSE cuenta con 22 embalses) y/o a efectuar largos bombeos. Tal es el caso de Montevideo, con una toma de agua sobre el Río Santa Lucía, ubicada aproximadamente a 56 km de la capital,

Tabla 1. Algunos datos sobre la prestación y gestión del servicio de agua potable por OSE en Uruguay (ver: www.ose.gub.uy)

Localidades atendidas	más de 350
Continuidad del servicio	24 horas
Volumen de agua producida (anual)	348 millones m ³ (Superficial casi 91%, Subterránea 9%)
Tarifa residencial consumo (15 m ³ al mes)	US\$ 15,7/mes (dólar al 30 abril 2014), equivalente a casi 0,85% del ingreso medio de los hogares
Micromedición	90% de conexiones agua con medidores operativos
Agua no facturada/Agua Elevada	52,6% (en 2013)
Financiamiento	Con los ingresos por tarifas; No recibe subsidios
Margen operativo	16,9% (Ingresos operativos facturados - Costos Operativos)/Ingresos operativos facturados 2013
Planificación	Planificación Estratégica y planes de acción anuales
Inversiones en infraestructura de agua potable (2010-2013)	US\$ 165 millones
Gestión de la calidad del agua potable	Implementación progresiva de Planes de Seguridad del agua (50000 análisis al año)

y dos embalses de 70x106 y 20x106 m³. Salvo casos puntuales que se han ido superando, no se presentan problemas durante eventos extremos de sequía.

Agua subterránea. En Uruguay el agua subterránea proviene básicamente de acuíferos granulares en rocas sedimentarias y de acuíferos fisurados que se desarrollan en rocas cristalinas. Estos últimos y los granulares poco permeables se emplazan en 55% de la superficie del país, principalmente en la zona Sur (la más poblada) y son de baja productividad, con caudales entre 0.5 y 5 m³/hora. Entre los acuíferos granulares destaca el Acuífero Guaraní, que abarca una superficie importante del país (en el entorno de 33%, básicamente en el Norte). Sin embargo, la mayor parte del mismo se encuentra bajo rocas basálticas a profundidades muy importantes y las aguas presentan temperaturas elevadas, alcanzando 45 °C, con las consiguientes dificultades para su empleo para agua potable. Existen otros acuíferos granulares con buenos caudales, como el Acuífero Raigón, que ocupa solamente 1.3% de la superficie del país. En síntesis, existen aún varias limitantes cuantitativas en muchas zonas del país para el abastecimiento con agua subterránea.

3.4 Calidad de agua de las fuentes

Aguas Superficiales. Las aguas superficiales de Uruguay, y en particular las empleadas para el abastecimiento de agua potable, han sufrido en los últimos años un incremento significativo de los niveles de nutrientes, siendo el caso más reportado el del fósforo, con niveles en muchos tramos de diferentes cursos de agua por encima del nivel para clasificar a los mismos como eutróficos. Este proceso se relaciona con importantes cambios en la matriz productiva del sector agropecuario en los últimos años. Esto ha favorecido el desarrollo de floraciones de algas, cianobacterias y plantas acuáticas bajo ciertas condiciones ambientales. También se han presentado estos fenómenos en los ríos Uruguay y Río de la Plata, de jurisdicción compartida con Argentina. Éste es el fenómeno más importante que afecta actualmente a la calidad de las aguas superficiales, ante lo cual se han tomado algunas medidas a nivel gubernamental, entre las que se puede mencionar el Plan de Protección de la Cuenca del Río Santa Lucía (ver Recuadro 10), el aumento de los programas de monitoreo, la puesta en funcionamiento de los Consejos Re-

gionales de Recursos Hídricos y Comités de Cuenca con participación de la sociedad civil, y la exigencia de que ciertas actividades agropecuarias presenten Planes de Uso del Suelo.

La OSE ha incluido en su planificación como uno de sus temas estratégicos la calidad del agua superficial y ha aprobado para el año 2014 planes de acción al respecto. A su vez, a nivel de producción de agua potable se han implementado numerosas acciones para asegurar la potabilidad del agua, tales como: aumento de los monitoreos hidrobiológicos y determinaciones de cianotoxinas con adopción de protocolos de alerta (incluyendo un protocolo preliminar a nivel de planta); mejoras e implementación de instalaciones de aplicación de carbono activado en polvo en las plantas potabilizadoras; implantación en algunas plantas de filtros granulares de carbono activado e incorporación de estas unidades en la construcción de nuevas plantas.

Aguas Subterráneas. Las aguas subterráneas no presentan en términos generales problemas de calidad para su uso como fuente de agua potable, salvo casos puntuales. Los problemas puntuales identificados derivan de las características hidrogeológicas de ciertos acuíferos, la salinización por sobreexplotación o contaminación de origen antrópico por actividades agropecuarias o por inadecuada gestión de las aguas residuales (e.g. falta de redes de saneamiento). Es necesario avanzar en la gestión de las aguas subterráneas, para lo cual aún existe un conocimiento acotado de muchos acuíferos (algunos como el Raigón y Guaraní han sido estudiados con cierta profundidad). Por ejemplo, existen muy pocos estudios de vulnerabilidad y escaso desarrollo del perímetro de protección de los pozos (que no se han establecido legalmente). La mejora de la fiscalización del cumplimiento de la normativa es también un aspecto a considerar.

3.5 Agua potable y enfermedades transmisibles

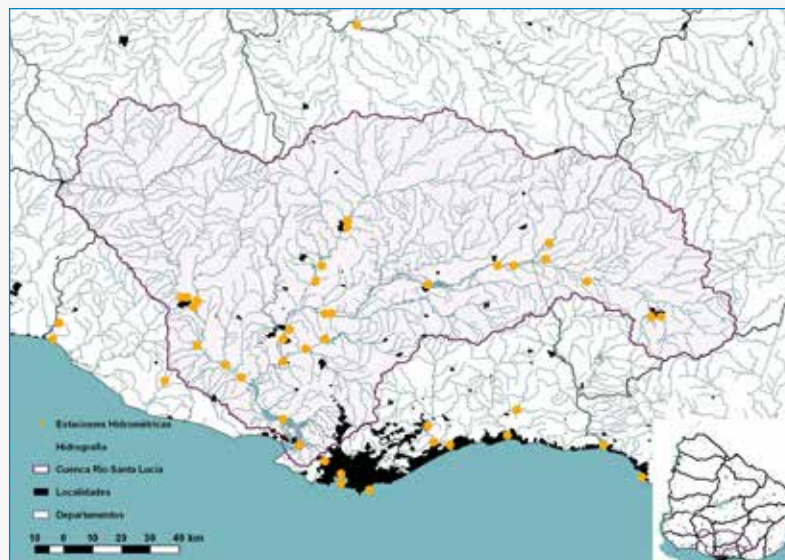
Entre las enfermedades que se pueden propagar por no disponer de agua potable y que son de reporte obligatorio en el Uruguay se presentan datos sobre tres de ellas, de importancia a nivel mundial. En Uruguay no se reportan casos de fiebre tifoidea y cólera (tampoco se presentaron casos en la epidemia de cólera que azotó a América Latina en la década de 1990). La hepatitis A presenta una incidencia de sólo

Cuenca estratégica del Río Santa Lucía, principal fuente de agua potable de Uruguay

El Río Santa Lucía abastece de agua potable a 60% de la población de Uruguay. En la cuenca se dispone de dos embalses (Paso Severino y Canelón Grande) y está en estudio la construcción de una nueva presa para asegurar el abastecimiento futuro.

La cuenca de aporte tiene una extensión de 13 mil 433 km² y concentra casi 32% de la población rural nacional. Es uno de los principales territorios de producción de alimentos a escala nacional, concentrando asimismo una gran actividad industrial. La actividad antrópica ha generado impactos en la calidad del recurso, siendo 81% del aporte de contaminantes fuentes difusas y 19% fuentes puntuales (industriales y domésticas) (DINAMA-JICA 2011). Estudios desarrollados por investigadores de la Sección Limnología de la Facultad de Ciencias (Universidad de la República, UdelaR) concluyeron que la mayor parte de los tributarios de la cuenca presentan una calidad ecológica pobre, con degradación importante de las márgenes, la vegetación riparia y el canal. Las variables fisicoquímicas del agua evidenciaron el efecto de actividades antrópicas sobre estos ambientes, presentando valores de fósforo correspondientes a un ambiente eutrofizado (Pacheco *et al.*, 2012). Esta situación ha preocupado a los sectores políticos y a la población, dando lugar a la elaboración de un Plan de Acción para la Protección de la Calidad de Agua del Río Santa Lucía, que contiene 10 medidas de emergencia. Por otra parte, se han realizado obras de ampliación y mejoras en la planta de potabilización de Aguas Corrientes. En cuanto a las medidas a largo plazo, en virtud de la relevancia que reviste el Río Santa Lucía a nivel nacional como reserva de agua dulce para abastecimiento del área metropolitana, se ha creado la Comisión de Cuenca del Río Santa Lucía (Decreto del Poder Ejecutivo 106/2013 del 2 de abril de 2013) que ha sido considerada estratégica por el Poder Ejecutivo.

Desde su constitución en 2013, la Comisión de Cuenca se presenta como un espacio de articulación de las políticas institucionales y sectoriales relacionadas con los recursos hídricos, en el cual sus miembros (Estado, usuarios y sociedad civil) deberán consensuar un aporte al diseño y aplicación del Plan de Gestión Integrada de Recursos Hídricos de la Cuenca, en cumplimiento de los principios enunciados en la Constitución y reglamentados por la Ley de Política Nacional de Aguas. Será este Comité quien haga el seguimiento de la implementación y ejecución del Plan de Acción.



0.65/100000 habitantes, aunque resulta necesario mencionar que desde el año 2008 se vacuna en el país contra la hepatitis A en forma gratuita y obligatoria. A su vez, la mortalidad infantil del país al año 2012 resultó de 9.3/1000 nacidos vivos (pos-neonatal 3.7/1000 nacidos vivos). En los casos de muertes de niños menores de 1 año, las causadas por diarreas y gastroenterocolitis constituyen solamente 0.7% de los mismos. La alta cobertura de agua potable es una condicionante ambiental a tener en cuenta para la consideración de estos datos (ver: www.msp.gub.uy; www.higiene.edu.uy).

3.6 Desafíos del abastecimiento de agua potable

Se presentan a continuación algunos desafíos en relación con el abastecimiento de agua potable a nivel urbano en Uruguay:

- Garantizar el acceso universal al agua potable segura dentro de la vivienda. La falta de agua potable segura dentro de la vivienda es considerada en el país una necesidad básica insatisfecha. Poco más de 2.6% de la población no tiene aún acceso a agua potable por redes dentro de la vivienda y en el entorno de 1.3% de la población lo tiene dentro de la vivienda pero proveniente de pozos surgentes protegidos, muchos de los cuales por sus características y falta de control de potabilidad no pueden considerarse como abastecimiento de agua segura. La mayor parte de la población que no cuenta con agua potable dentro de la vivienda pertenece a los sectores más desfavorecidos y con mayor incidencia porcentual en localidades pequeñas. Para mejorar esta situación se están implementando acciones por parte de la OSE y otras instituciones, como se describió anteriormente. El reto es establecer e implementar un plan general nacional con objetivos y metas.
- Profundizar los procesos de protección y recuperación de las fuentes superficiales empleadas para el agua potable y avanzar en la gestión y protección de acuíferos.
- Continuar y profundizar la implementación de sistemas de alerta hidrobiológica, la mejora del equipamiento de las plantas de potabilización y la gestión operativa para enfrentar los problemas actuales y potenciales de eutrofización de las fuentes de agua.

- Avanzar en el monitoreo de los aportes difusos de nutrientes hacia los cuerpos de agua superficiales, así como en las medidas tendientes al control de los mismos.
- Seguir desarrollando la herramienta de Planes de Seguridad del Agua.
- Aumentar la relación agua facturada/ agua elevada.
- Reducir los consumos de agua potable con medidas tales como promover el empleo de cisternas con menores volúmenes de descarga, canillas y duchas con control de caudal, lavarropas con bajo consumo de agua, establecer normativas al respecto y profundizar las campañas publicitarias.

4. Aguas residuales

El sector del saneamiento en Uruguay presenta dos realidades: una en Montevideo y otra en el resto del país. Son varios los factores que lo determinan. En primer lugar, la capital fue el primer centro urbano en poseer redes de alcantarillado, mucho antes que las ciudades del interior. Asimismo, debido a que en Montevideo el saneamiento se desarrolló de forma unitaria (conducción de pluviales y aguas servidas en una única red), la administración del saneamiento quedó en manos del Gobierno departamental, en tanto que en el resto del país quedó en manos de la empresa estatal OSE. Por este motivo, el abordaje de este tema se realiza diferenciando ambas realidades.

4.1 Aguas residuales domésticas

El Decreto 78/010 define al saneamiento como “aque- llos sistemas de transporte de las aguas residuales por red de alcantarillado, en camiones barométricos y disposición final en planta de tratamiento, así como el almacenamiento y disposición final “*in situ*” con pozos filtrantes y/o infiltración al suelo”. Se entiende por pozo negro un depósito impermeable donde se almacenan las aguas residuales, que cuando llegan a su nivel máximo se han de vaciar mediante camiones barométricas (denominación en Uruguay de camiones cisternas o atmosféricas que succionan las aguas residuales o lodos). Por otra parte, el Decreto 253/79 no permite la infiltración al suelo de aguas residuales en áreas urbanas.

A nivel nacional, la cobertura de saneamiento alcanza a 94% de los hogares. De ellos, 54% cuenta con red de alcantarillado, mientras la mayoría del porcentaje restante cuenta con pozos negros (Tabla 2).

La cobertura de saneamiento por alcantarillado en el interior (43%) es inferior a la media nacional (INE, 2011), en tanto que Montevideo cuenta con mayor cobertura de red de saneamiento (aproximadamente más del doble que la media del interior).

Montevideo

Se estima que 90% de la población urbana del Departamento de Montevideo cuenta con red de alcantarillado, que cubre aproximadamente 14 mil 500 ha y consta de 2 mil 700 km de colectores y canales. En Montevideo coexisten dos tipos de conducción: la más antigua, unitaria (conducción tanto de aguas servidas como pluviales), representa 60% de la cobertura; la restante es separativa. Actualmente, el desarrollo de redes es únicamente a través de sistemas separativos.

El sistema de saneamiento y drenaje tiene por objetivo mejorar la calidad del ambiente urbano. Como se indicó, el sistema operado por la División Saneamiento de la Intendencia de Montevideo (IM), a diferencia del resto del país, no opera solamente la red de alcantarillado de aguas servidas sino todo el sistema de drenaje, incluyendo el drenaje pluvial e incluso interviniendo en la gestión de los cursos de agua. De esta forma, ambos sistemas se proyectan, construyen y gestionan en simultáneo, resolviendo todos los problemas de interferencias e interconexiones, e incluso se gestionan los cuerpos de agua en los que se vierte.

Cuando la última etapa del Plan de Saneamiento Urbano IV (PSUIV) esté finalizada, la disposición

final se realizará sobre el Río de la Plata mediante dos emisarios subacuáticos. Previo a cada emisario habrá una planta de pretratamiento con rejas, tamices y desarenadores. En la actualidad ya funciona una planta que abarca los vertidos del este de la ciudad, desde mediados de la década de 1990. Esta planta, al recibir el sistema unitario, funciona en ausencia de precipitaciones. El futuro emisario, en tanto, dispondrá las aguas servidas (exclusivamente, por ser separativo) del oeste de la ciudad.

Según el Censo de 2011, 14.2% de las viviendas del Departamento de Montevideo almacenan sus aguas servidas en depósitos impermeables. La meta de la División Saneamiento de la IM es expandir los sistemas a la totalidad de la población urbana, cubriendo a los 130 mil habitantes de la zona urbana que no cuentan con servicio. Para ello, desde la década de 1990 se viene implementando el Plan Director de Saneamiento de Montevideo y también se está actualizando el Plan Director de Saneamiento y Drenaje Urbano (PDSUM), cuyo horizonte de planificación es el año 2050 (ver Recuadro 11).

Interior del país

Aproximadamente 42% de la población urbana del interior cuenta con servicio de red de saneamiento, el cual es operado y administrado por la OSE y cuenta con unas 280 mil conexiones. Este sistema es de tipo separativo y únicamente atiende las aguas servidas. La evacuación de las aguas pluviales de las áreas urbanas es responsabilidad de cada Intendencia. La cobertura del alcantarillado es heterogénea en los distintos centros urbanos, superando 60% en algunas capitales (30 mil a 70 mil habitantes), aunque en otros casos es menor a 30%. Existen incluso

Table 2. Tipo de servicio sanitario en hogares particulares de áreas urbanas y rurales.

	Total		Urbano		Rural	
		%		%		%
Población (habitantes)	3,286,314	100	3,110,701	100	175,613	100
Red de saneamiento		53.6		56.9		-
Pozo negro		37.8		35.6		84.8
Entubado hacia un curso de agua		0.6		0.5		1.6
Otro sistema		0.3		0.2		1.1
Sin servicio sanitario		1.6		1.5		3.3
Sin datos relevados (%)		>4		>1		>8

Fuente: INE, Censo 2011

importantes zonas del área metropolitana (mayores a 20 mil habitantes) aún sin red.

Si bien la OSE está realizando obras muy importantes en materia de nuevas redes de saneamiento entre las que destaca la de una de las ciudades importantes del área metropolitana (Ciudad de la Costa, con más de 100 mil habitantes) e importantes extensiones de red en varias capitales, aún restan muchas localidades de más de 5 mil habitantes (e incluso de 10 mil) sin red de saneamiento. Por tanto, los objetivos propuestos en materia de cobertura de

saneamiento mediante red de alcantarillado no incluyen aún al total de la población urbana.

Por otra parte, 16% de la población con red de saneamiento en el frente de su vivienda no está conectada a la misma. Para aumentar el número de conexiones, OSE y el MVOTMA han creado el Plan Nacional de Conexión al Saneamiento, destinado a brindar apoyo económico a hogares de menores recursos para la ejecución de las obras de adecuación de la sanitaria interna, para la posterior conexión a la red de saneamiento (Rojas, 2014).

Plan de Saneamiento y Drenaje Urbano de Montevideo

La ciudad de Montevideo cuenta con un proceso continuo de planificación de su saneamiento. Entre 1992 y 1995 se realizó la primera versión del Plan Director de Saneamiento de Montevideo (PDSM), un plan estratégico con un horizonte de previsión dividido en tres períodos: dos de 10 años (1995-2005 y 2005-2015) y uno final de 20 años, hasta 2035. Durante el primer período de aplicación (PSU III) se construyeron 570 km de redes, 10 estaciones de bombeo y sifones bajo los Arroyos Miguelete y Pantanoso. Se extendió el saneamiento y drenaje a 3 mil 900 ha de ciudad y a 11 mil personas. Se estructuró el sistema de saneamiento existente y se rehabilitaron redes construidas en el siglo XIX. Tuvo también un importante componente de fortalecimiento organizacional que abarcó el diseño de nuevas estructuras y de herramientas de gestión.

En el segundo período (2006-2015) se complementaron las obras de extensión de redes y se incluyó la construcción de las obras definitivas de disposición final de la zona oeste de Montevideo, con la construcción de cuatro estaciones de bombeo, una planta de pretratamiento y el nuevo emisario submarino. La inversión realizada en las dos etapas fue de aproximadamente 440 millones de dólares (una inversión promedio de 22 millones de dólares anuales).

Debido a cambios en el ambiente, la sociedad, la economía y en la ejecución, en 2005 se comenzó la actualización del proceso de planificación estratégica, con el Plan Director de Saneamiento y Drenaje Urbano de Montevideo (PDSDUM) (ver: www.montevideo.gub.uy).

En la figura de este recuadro el color azul indica el sistema de disposición final Oeste (al emisario Punta Yeguas), el violeta el sistema de disposición final Este (al emisario Punta Carretas); en verde se indica el área no saneada, mayoritariamente rural.



Un aspecto importante en el país son las interferencias e interconexiones entre los sistemas de transporte y evacuación de aguas pluviales y los de aguas cloacales en las redes separativas. Como consecuencia de los mismos se presentan situaciones de trabajo a sobrepresión en la red, causando muchas veces retroceso de aguas por las conexiones y desbordes a la vía pública (salto de tapas) o alivio de caudales hacia colectores pluviales o cursos de agua, con los efectos negativos consiguientes.

Respecto al tratamiento de efluentes, en el plan de inversiones de la OSE para el saneamiento, a partir de la década de 1990 se ha hecho foco en la construcción de plantas de tratamiento en los centros urbanos con redes de saneamiento. Se han construido 12 plantas de tratamiento en varias capitales departamentales, en tanto que otras ciudades cuentan con zanjas de oxidación y lagunas de tratamiento. De esta forma, aproximadamente 80% de las viviendas conectadas a las redes de saneamiento en el interior del país tienen como destino plantas de tratamiento de efluentes. No obstante, las ciudades ubicadas sobre el Río Uruguay, Río Negro o Río de la Plata vierten solamente con pre-tratamiento, para las cuales existen proyectos para mejorar la calidad del vertido. Asimismo, existen complejos habitacionales subsidiados por programas del Estado que cuentan con sistemas de conducción y tratamiento autónomo (fosas sépticas individuales y sistemas de lagunas) que

son gestionados por la OSE. La Tabla 3 da cuenta de los sistemas de tratamiento de efluentes domésticos gestionados por la OSE a nivel nacional.

De la población urbana del interior del país, 58% carece de redes de alcantarillado pero cuenta con pozos negros, los cuales son gestionados por sus usuarios. Estos depósitos tienen un volumen de aproximadamente 6 m³. Considerando que un hogar tipo constituido por cuatro personas consume en promedio 18 m³ de agua potable al mes (130 litros/hab/día), el pozo impermeable debería ser vaciado con una frecuencia al menos quincenal y su contenido debería ser transportado hasta instalaciones adecuadas para su tratamiento final.

El servicio de barométrica representa un alto costo operativo para sus usuarios. Por ello, estos sistemas que en teoría son impermeables, frecuentemente presentan pérdidas superficiales y/o subterráneas, vertiendo su contenido a las zanjas de aguas pluviales ubicadas en la vía pública o al subsuelo. Una variante de esta operativa es la descarga directa de aguas grises (lavados y cocina) a la vía pública para aumentar así el tiempo que tarda en llenarse el pozo negro. Según datos del Censo Nacional de 2011, solo 65% de los hogares con pozo negro utiliza el servicio de barométrica para vaciar los sistemas. Según una estimación de la División de Agua Potable y Saneamiento de DINAGUA (Dirección Nacional de Aguas y Saneamiento), la capacidad operativa de los camio-

Tabla 3. Cuantificación de los sistemas de tratamiento gestionados por la OSE (año 2012).

Tipo de sistema	Cantidad
Pretratamiento y vertido	3
Tanque Imhoff	1
Lodos activados (aireación extendida); Remoción de nitrógeno; Desinfección UV	6
Retiro con barométrica	53
Tratamiento por lagunas	229
Tratamiento mediante reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB)	2
Parcela de escurrimiento	2
Tanque Imhoff con lecho percolador	1
Lodos activados con aireación convencional	2
Lodos activados con aireación extendida	11
Zanjas de oxidación-desinfección UV	1
Zanjas de oxidación	5
Vertido a otro sistema cercano	38
Sin datos	69
Total	420

nes de barométrica en los departamentos del interior apenas alcanza para satisfacer a 16% de los efluentes vertidos a los pozos, en caso de que 100% de éstos fueren completamente impermeables. Por otra parte, los sitios adecuados para la disposición de los efluentes de estos servicios también es insuficiente; a modo de ejemplo, solamente en seis departamentos se cuenta con un sitio de disposición final adecuado.

4.2 Aguas residuales no domésticas

Además de las aguas residuales domésticas, en las ciudades de Uruguay se generan varios tipos de aguas residuales urbanas.

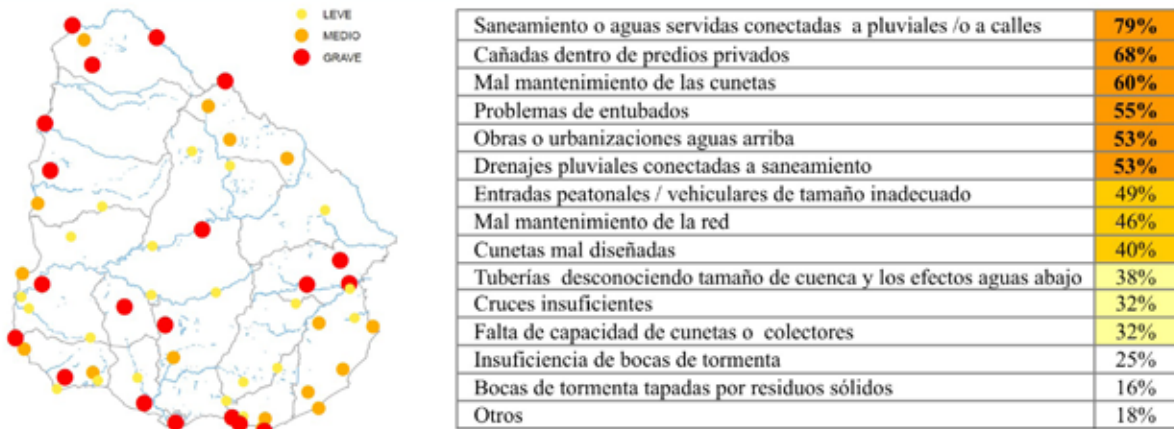
- a. **Aguas residuales industriales:** a nivel de todo el país, la autoridad a cargo de la regulación y control de los vertidos de aguas residuales industriales es la DINAMA (Dirección Nacional de Medio Ambiente, del MVOTMA). Debido a que aproximadamente 40% de las industrias con vertidos declarados están instaladas en Montevideo, la IM también ejerce vigilancia, control y monitoreo de las mismas (DINAMA, 2012). En 1996 se inició un Plan de Reducción de la Contaminación Industrial que logró reducir en forma importante las cargas vertidas, el cual propició grandes avances en la mejora de la calidad de los vertidos industriales en Montevideo (IM, 2012).
- b. **Aguas pluviales y lavado de calles:** las aguas pluviales arrastran residuos sólidos, oleosos y otros contaminantes, aunque no existe cuantificación a nivel nacional.
- c. **Aguas de locales comerciales y de servicios:** algunos locales generan efluentes que, por su calidad, pueden constituir descargas localizadas de importancia en las redes de saneamiento (restaurantes, lavaderos, centros de salud, etcétera). Estos locales deben aplicar acciones específicas para mejorar la calidad de sus vertidos.
- d. **Lixiviados de sitios de disposición final de residuos sólidos:** a nivel país, la amplia mayoría de los Sitios de Disposición Final (SDF) de residuos sólidos son vertederos con muy variado grado de control, pero que en general no son gestionados en forma correcta (OPP, 2011). De 23 SDF que reciben más de 10 ton/día, solamente dos tienen características de relleno sanitario y cinco cuentan con sistemas de recolección y tratamiento de lixiviados.

4.3 Desafíos del sector saneamiento

Se enumeran a continuación algunos desafíos fundamentales del sector saneamiento a nivel país:

- **Ampliación de la cobertura de red de saneamiento.** Si bien la cobertura de saneamiento mediante alcantarillado y la construcción de plantas de tratamiento continúa en desarrollo (en el período 2010-2013 se invirtieron 220 millones de dólares), restan aún importantes áreas urbanas sin red de alcantarillado. Tal es el caso de al menos 14 ciudades y conglomerados urbanos de más de 5 mil habitantes (seis localidades de más de mil y siete de más de 5 mil, que en total suman aproximadamente 168 mil habitantes), además de áreas generalmente periféricas en ciudades que ya cuentan con redes.
- **Aumento de las conexiones en áreas cubiertas por redes.** La conexión a las redes se vuelve onerosa, principalmente para las familias de escasos recursos, por lo que se han creado herramientas de financiamiento y subsidios como el Fondo Rotatorio de Conexiones (Montevideo) y el Plan Nacional de Conexión al Saneamiento, reforzado con estrategias de promoción social para viabilizar la conexión efectiva.
- **Propiciar soluciones de saneamiento descentralizado** alternativos al pozo impermeable, con mejores estándares de calidad. Para ello se deben superar ciertas restricciones como las escasas capacidades técnicas de los organismos municipales para controlar los sistemas, debilidades en las normativas que regulan el servicio (no se contempla la existencia de otros sistemas que no sean los pozos negros), así como la ausencia de percepción de las deficiencias de los sistemas por parte de los usuarios. La universalización del saneamiento mediante sistemas que sean económica, sanitaria y ambientalmente sustentables, requiere la planificación a largo plazo del servicio, integrando a sus políticas el concepto del ordenamiento territorial.
- **Actualización de la normativa sobre efluentes para aguas residuales domésticas y origen no doméstico.** En particular, es importante que la normativa adopte un criterio de control de cargas vertidas, así como no establecer los límites únicamente con base en las concentraciones de los diversos parámetros, sino también teniendo en consideración las cargas absolutas.

Figura 4. Ciudades con problemas de drenaje y tipo de problema de drenaje, ordenado según porcentaje de localidades que lo presentan



Fuente: MVOTMA/DINAGUA, 2011

- Necesidad de inversiones con el fin de mejorar la gestión de los SDF del interior del país. Las mejoras implican no sólo recursos económicos sino también recursos humanos calificados.
- Se identifican algunas áreas que requieren un pronto fortalecimiento a nivel operativo, para lograr un cambio en las tendencias a futuro: lo relativo a control en todas sus variantes (control de la calidad de los vertidos, monitoreo de cuerpos de agua, etcétera) y las capacidades técnicas en distintas zonas del país. Asimismo, y al igual que lo expresado para el sector del agua potable, es necesario el fortalecimiento institucional de aquellos organismos implicados en la planificación y gestión de los servicios de saneamiento.

5. Aguas pluviales

Las aguas pluviales brindan a las ciudades múltiples beneficios (aprovechamiento para riego y de espacios verdes, entre otros). Sin embargo, desde una gestión tradicional higienista, la gestión se focaliza en la resolución de conflictos, enmascarando estas potencialidades. En esta sección se presentan los principales problemas presentes en el país en cuanto a drenajes pluviales, y cómo iniciativas recientes es-

tán logrando dar solución a estos problemas y cambiar el abordaje, avanzando hacia una gestión sustentable de los drenajes pluviales.

5.1 Principales problemas

En Uruguay los problemas de drenaje pluvial afectan tanto a capitales departamentales como a pequeñas localidades. Más de 60 centros poblados son afectados por problemas de drenaje urbano, siendo 70% de los casos considerados medios o graves (MVOTMA/DINAGUA, 2011) (Fig. 4).

Los problemas más frecuentes se asocian a la interacción conflictiva entre subsistemas: intrusión de aguas pluviales al saneamiento, reducción de capacidad de drenaje por interferencia de otras conducciones, escasa o nula consideración de las aguas en la planificación territorial de la ciudad (cañadas dentro de predios privados, obras o urbanizaciones aguas arriba, aumento del escurrimiento natural, etcétera) o aspectos culturales (mal mantenimiento de cunetas y bocas de tormenta, saneamiento conectado a pluviales o viceversa, etcétera).

Si bien los problemas de drenaje pluvial son similares entre localidades, las capacidades locales para afrontarlos son diferentes (Fig. 5). Las diferencias entre los departamentos del interior del país y Montevideo son significativas, muestra de lo cual es

que Montevideo cuenta con un Plan Director que estructura las obras desde 1994.

En Montevideo se presentan problemas de inundación de diversa índole. En la zona urbana consolidada hay insuficiencia de colectores, lo que provoca la inundación de calles y viviendas. Esto se debe, entre otras cosas, a los criterios de diseño utilizados en la época de ejecución de algunas redes (antes de 1950). Además, el aumento de impermeabilización en las cuencas ha provocado un aumento en los caudales. Otro tipo de inundaciones sucede en las márgenes de los arroyos, donde se han instalado viviendas en zona de inundación frecuente. Existe un tercer tipo de inundación que es la debida a niveles altos de Río de la Plata, lo cual puede causar inundación incluso en ausencia de lluvias; estos eventos, en concurrencia con precipitaciones, provocan los mayores impactos en las ciudades.

Según el diagnóstico realizado por DINAGUA, en el interior del país los técnicos de las intendencias consideran que la causa de los problemas radica en la ausencia de planificación y la escasez de recursos humanos con dedicación para la planificación. La ausencia de planes de drenaje no permite tener un diagnóstico a nivel país de los problemas causados por el drenaje pluvial ni de las necesidades de inversión requeridas para solucionarlos.

A pesar de esto, se cuenta con información proveniente de diferentes fuentes que permite una aproximación a la situación actual. Durante el Censo de Entorno Urbanístico⁴ (INE, 2011) se revelaron algu-

4. Junto con el Censo de Población y Vivienda, el Instituto Nacional de Estadística (INE) realiza por primera vez el Censo de Entorno Urbanístico, que permite caracterizar tramos de calles en función de su equipamiento e infraestructura de diferente índole.

Figura 5. Problemas de drenaje pluvial en ciudades del país.



Fuente: MVOTMA/DINAGUA 2011.

nas variables de interés: tipo de pavimentos de vías, ubicación de infraestructura de conducción (cordones, cordones cunetas, cunetas), elementos de captación (bocas de tormenta), así como la existencia de basurales. Si bien la información revelada es muy general, tiene la ventaja de tener un alcance nacional. Desde el equipo de Inundaciones y Drenaje Urbano (IDU) de DINAGUA se revelan zonas de conflictos de aguas en las ciudades, a partir de metodologías participativas con técnicos y referentes de las ciudades. A partir de la información se construyen mapas de percepción de conflictos, que identifican problemas de pluviales, interacción con otros subsistemas, propuestas e información complementaria (Fig. 6).

La IM cuenta con un Sistema de Información Geográfica donde se publican los datos de catastro de la red de saneamiento y drenaje. La información describe las características geométricas y altimétricas de la red de colectores y sus estructuras especiales. Se cuenta también con un diagnóstico general y una estimación de las obras a realizar, tanto para solucionar problemas existentes como para responder a las necesidades de expansión de la ciudad.

5.2 Avances y desafíos del manejo de las aguas pluviales

En el marco de la instalación de un marco proclive a la planificación en los ámbitos de la gestión pública se ha avanzado en los siguientes ítems:

- Coordinación con Planes Locales de Ordenamiento Territorial, en particular con la previsión de áreas de expansión de la ciudad, propuesta de parques lineales sobre arroyos o cañadas, limitación de factor de impermeabilización de suelo, entre otros.
- La integración con otros proyectos de infraestructura urbana a partir de reconocer posibles sinergias entre los diversos subsectores comienza a ser común; por ejemplo, la realización de proyectos que integran obras de drenaje pluvial con saneamiento, vialidad o parquización.
- Experiencias de control en fuente, tanto en Montevideo como más recientemente en otras ciudades, han permitido definir en la normativa medidas de limitación de la impermeabilización de suelo o de amortiguación dentro de padrones.

Figura 6. Mapas de percepción de conflictos Juan Lacaze



Fuente: DINAGUA/IDU; 2012.

A partir de ello, en Montevideo se han presentado estudios de más de 20 lagunas de amortiguación prediales en grandes áreas impermeables. Otra experiencia interesante es la de Ciudad de la Costa, en donde se han construido cunetas amortiguadoras que laminan caudales, disminuyendo su impacto en la playa (Fig. 7).

- Estanques de amortiguación en el espacio público; por ejemplo, la construcción de estanques de retención ha permitido reducir el impacto de inundaciones en varias zonas de Montevideo y el interior, logrando también en varios casos aprovechamientos para el uso público. En los últimos años se han construido más de seis lagunas de amortiguación o plazas inundables, y se encuentran en ejecución en Montevideo una plaza inundable y cuatro tanques de amortiguación enterrados.
- Experiencias de reparto de cargas y beneficios, a partir de permitir excepciones en la normativa

de edificación, han logrado que privados construyan a su cargo algunas obras de drenaje pluvial (como el caso del edificio Diamantis Plaza).

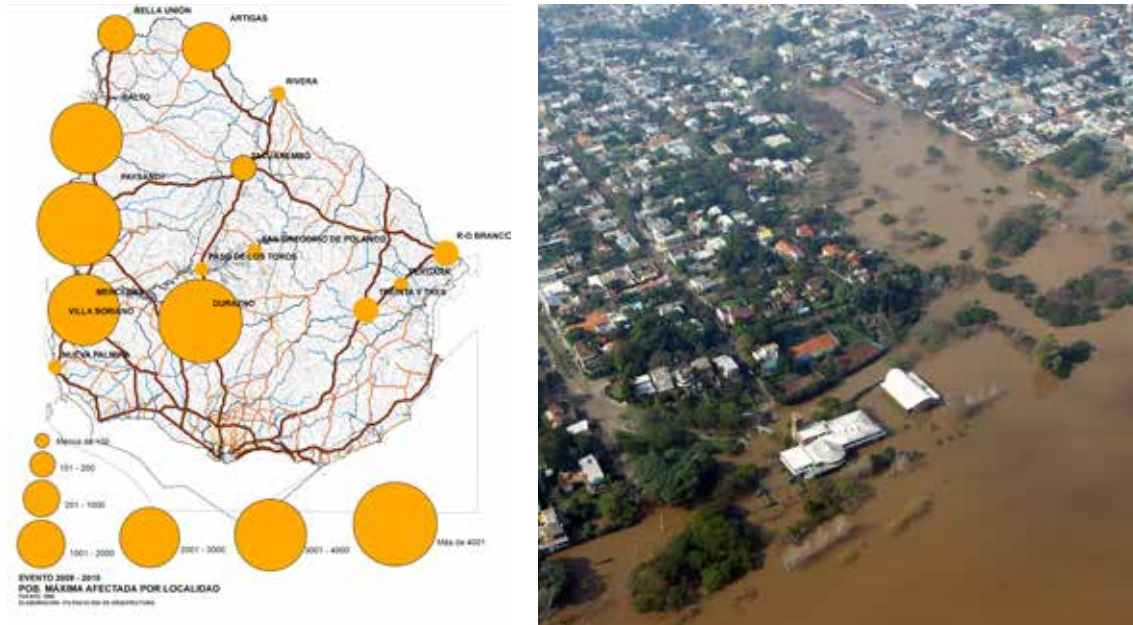
- Planificación conjunta. Las experiencias de planificación y obras coordinadas ha evidenciado la necesidad de realizar planes integrales de aguas. Así, se han iniciado los Planes de Aguas Urbanas en las ciudades de Salto, Young y Ciudad del Plata, que involucran aguas subterráneas, inundaciones, agua para uso industrial y residencial, drenaje pluvial, efluentes industriales y saneamiento, así como su articulación con residuos sólidos y planificación territorial.
- Actualización del PDSUM. Montevideo cuenta con un Plan Director que definió las obras y actividades desarrolladas en los últimos 20 años. Hoy se encuentra en etapa de adjudicación una actualización de este plan, cuyo horizonte de proyección es 2050.

Figura 7. Drenajes pluviales de la Ciudad de la Costa: cunetas amortiguadoras (izq.); zona sin proyecto ejecutado (der.)



Inundación de febrero 2014; fuente: www.lr21.com.uy

Figura 8. Evacuados por localidades en las inundaciones de 2009-2010 (izq.); inundación en Salto 2014 (der.).



Fuente: Piperno et al. 2009; Foto: Intendencia de Salto.

6. Riberas urbanas

Las riberas de los ríos son parte fundamental de la vida de las ciudades, constituyéndose al mismo tiempo en un problema (fundamentalmente asociado a las inundaciones) y una oportunidad como lugar de turismo y recreación.

Inundaciones urbanas

La mayor parte de los ríos y arroyos en Uruguay son cursos aluviales con una importante planicie y baja pendiente, donde predominan las crecidas de tipo lento y larga duración, en contraposición con las crecidas repentinas y cortas, típicas de ríos de montaña y fuertes pendientes. El impacto y recurrencia de estos eventos de avenida generan importantes afectaciones en las economías locales y en la dinámica de las ciudades, siendo excepcionales las situaciones de pérdidas de vidas humanas o personas heridas.

6.1 Inundaciones urbanas

Desde el año 2000, 73% de los registros históricos del Sistema Nacional de Emergencias (SINAE) son eventos hidrometeorológicos (inundación, sequía, tormenta, granizada, tornado), correspondiendo 63%

de los mismos a inundaciones. Según esa base de datos, han sido afectados más de 30 centros poblados ubicados en 18 de los 19 departamentos del país. La población de 25 de estos centros poblados es mayor a 10 mil habitantes, siendo a su vez 14 de ellos capitales departamentales.

A nivel nacional, han sido más de 67 mil personas las afectadas desde el año 2000, reconociéndose situaciones críticas como las ciudades de Río Branco, con más de 20% de la población afectada en su máxima inundación registrada (año 2002), Durazno (6 mil 966 evacuados en 2007), Artigas (5 mil 69 en 2001), Paysandú (4 mil 355 en 2009), Salto (3 mil 230 en 2009) y Ciudad de la Costa y Costa de Oro durante el evento de febrero de 2014 (Fig. 8).

Las razones que explican la magnitud y persistencia de esta problemática son variadas y muchas veces su abordaje reviste un alto grado de complejidad. Los agentes hidroclimáticos (aumento de magnitud y frecuencia de los forzantes como precipitación y/o nivel del mar) son factores de crisis, pero no ofrecen una explicación completa de los impactos sufridos, ya que el riesgo de inundación es un proceso de construcción social de las amenazas y la vulnerabilidad (Blaikie *et al.*, 1996), lo que complejiza la búsqueda de soluciones de fondo.

6.2 Servicios ecosistémicos de sistemas fluviales urbanos

Desde hace algunos años ha comenzado a comprenderse e implementarse medidas de manera integral frente a las inundaciones (Gestión Integral del Riesgo, Gestión Integrada de Crecientes), existiendo un proceso de coordinación de medidas estructurales (obras civiles) y no estructurales (medidas regulatorias, de capacitación, coordinación y participación) para gestionar situaciones de riesgo, tanto para la prevención y mitigación como para la alerta y respuesta. A continuación se presentan algunas medidas en las que Uruguay está avanzando actualmente:

- Coordinación interinstitucional: se ha aprobado la Ley del Sistema Nacional de Emergencias (Ley 18621), que promueve la gestión de los riesgos en una red nacional, incorporando los organismos nacionales y departamentales involucrados en la temática. Aún incipientemente, se avanza en su implementación.
- Avances en el conocimiento: en los últimos años se ha capitalizado el avance en el conocimiento de los procesos hidrológicos a nivel de cuenca, la hidrodinámica de los ríos y los ecosistemas fluviales, junto a la concepción de amenaza y vulnerabilidad, a través del abordaje interdisciplinario. Se han generado avances en el diagnóstico, en la evaluación de soluciones y en estudios que profundizan y apoyan a la gestión. Los desarrollos para las ciudades de Artigas, Salto, Tacuarembó, San Carlos, Treinta y Tres, Melo y Durazno son ejemplo de ello, destacándose particularmente la consideración de las soluciones propuestas por la población afectada (San Carlos, Salto y Melo) por parte de la Universidad de la República-UdelaR (Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Instituto de Teoría y Urbanismo, Facultad de Ciencias, entre otros).
- Avances en la capacitación de profesionales: existen en el medio profesionales capacitados y con experiencia para el tratamiento de la problemática de inundaciones desde el punto de vista de la ingeniería fluvial, los ecosistemas fluviales, aspectos sociales/económicos y ordenamiento territorial, así como programas educativos que promueven acciones interdisciplinarias. Sin embargo, la cantidad y la distribución territorial de los mismos hacen necesario el diseño de estrategias para la mejora de las capacidades locales. La descentralización de la UdelaR desde el año 2009, y las opciones de carácter interdisciplinario como la Licenciatura de Gestión Ambiental, Licenciatura en Ciencias Hídricas Aplicadas y Maestría de Manejo Costero Integrado, son algunos ejemplos.
- Mejora de los sistemas de alerta y de gestión de las emergencias, asociadas en particular al Sistema de Alerta Hidrológico y el Plan de Acción Durante Emergencias (PADE) de la represa de generación de energía de Salto Grande, de las represas del Río Negro (con el PADE en elaboración) gestionadas por UTE (Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas), el Sistema de Alerta Temprana (SAT) operativo en Durazno y la próxima implementación del SAT en Artigas, a partir de un proyecto interinstitucional apoyado por la Agencia Nacional de Innovación e Investigación (ANII).
- Las redes hidrométricas con transmisión telemétrica presentan una utilidad incuestionable para el alerta, monitoreo y operación de eventos hidrometeorológicos extremos. Las estaciones telemétricas de la cuenca del Río Yí (UTE), si bien tienen como objetivo primario la cuantificación de aportes a los embalses de las centrales hidroeléctricas, se utilizan actualmente para la operación del SAT en Durazno, situación potencialmente replicable en por lo menos seis localidades de la cuenca del Río Negro (ver Recuadro 12).
- Incorporación de mapas de riesgo a los planes locales de ordenamiento territorial que permitan definir zonas de transformación (riesgo alto) y de mitigación (riesgo medio y bajo). Se han elaborado mapas de inundación, vulnerabilidad y riesgo para las principales ciudades que presentan esta problemática (Artigas, Durazno, Salto, Treinta y Tres y Melo) (Fig. 9).
- Se ha considerado prioritariamente la inundabilidad en la implementación de políticas públicas de vivienda (Plan de Relocalizaciones; adquisición de nueva cartera de tierras, etcétera).

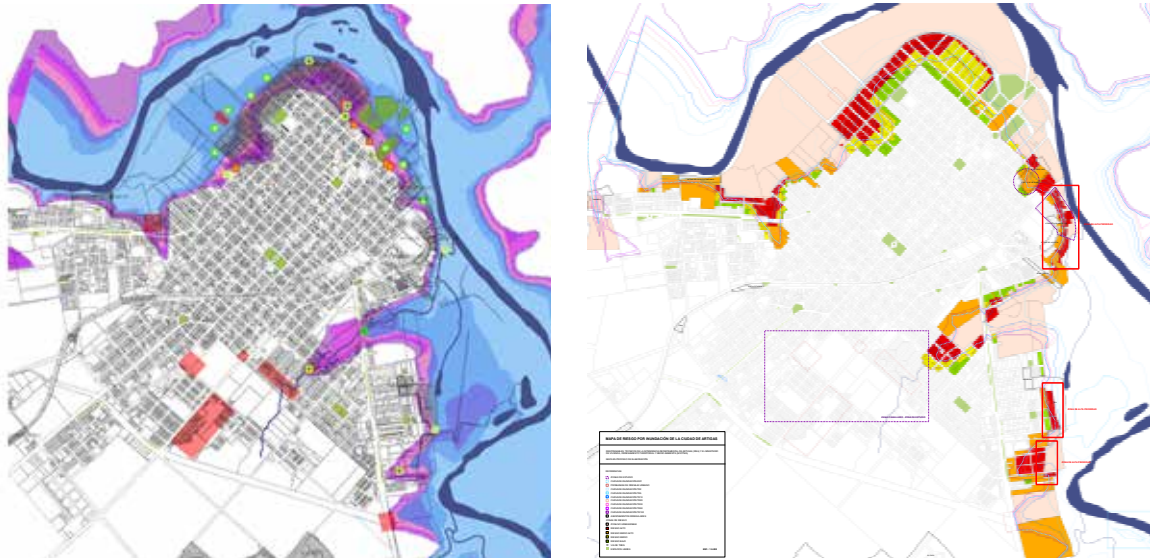
6.3 Servicios ecosistémicos de sistemas fluviales urbanos

Las poblaciones urbanas se han vinculado históricamente con un conjunto de servicios brindados por

los ecosistemas acuáticos, varios de ellos fundamentales para el bienestar humano. Los servicios ecosistémicos incluyen todos los bienes y servicios que las

sociedades humanas obtienen de los sistemas naturales (de aprovisionamiento, de soporte, regulación y culturales). Las interacciones entre los ecosistemas,

Figura 9. Amenaza y de riesgo de inundación de la ciudad de Artigas (DINAGUA, Intendencia de Artigas)



Sistema de alerta temprana para la ciudad de Durazno

La ciudad de Durazno, ubicada en la margen del Río Yí, presenta una alta recurrencia de eventos de inundación a lo largo de su historia. La inundación de 1959 fue la máxima conocida hasta los eventos ocurridos en 2007 y 2010, que la superaron no solo en nivel del agua sino también en número de afectados. En el marco de un acuerdo entre la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y la Fundación Julio Ricaldoni-Uruguay, se buscó la mejora en la gestión de las inundaciones en la ciudad de Durazno, a través de una herramienta de alerta hidrológica. El producto resultante fue el Sistema de Alerta Temprana (SAT) en la ciudad de Durazno, un sistema de aviso en tiempo real sobre la ocurrencia de niveles de evacuación y su permanencia estimada, operado con capacidades locales y que cuenta con la garantía necesaria de precisión y confiabilidad requeridas.

El SAT se compone de tres módulos: el primero corresponde a la lectura y tratamiento de la información de entrada al sistema en base a múltiples fuentes (registros pluviográficos de la red telemétrica, registros pluviométricos y pronósticos meteorológicos); el segundo módulo (Silveira *et al.*, 2012) se ocupa de simular el comportamiento de la cuenca del Río Yí para obtener el hidrograma de crecida pronosticado en la ciudad de Durazno (modelo hidrológico-hidrodinámico); el tercer módulo consiste en la generación y publicación de los resultados como información de salida, particularmente los mapas de áreas urbanas a ser afectadas por la crecida pronosticada. La principal ventaja comparativa del nuevo sistema radica en la predicción de la fecha y hora de ocurrencia del nivel máximo pronosticado y la permanencia en el tiempo de los niveles por encima de las cotas críticas, con 48 a 72 horas de antelación y precisión adecuadas para la gestión de la emergencia. Esto ha fortalecido sustantivamente al sistema de gestión de las emergencias ante inundaciones, a cargo del Centro Coordinador de Emergencia Departamental de Durazno (CECOED-Durazno).

los servicios ecosistémicos asociados y los componentes claves del bienestar humano generan entidades de una considerable complejidad, hoy conocidos como sistemas socio-ecológicos.

En Uruguay, los servicios ecosistémicos no han sido históricamente identificados, percibidos y/o valorados adecuadamente por la población o por el ámbito directa o indirectamente vinculado a la gestión ambiental. Este desconocimiento ha llevado, entre otras cuestiones, a que la legislación, los fraccionamientos urbanos y las obras de infraestructura tendieran a dar la espalda a los sistemas naturales, comprometiendo la sostenibilidad en el tiempo de múltiples servicios.

A nivel urbano, si bien es histórico el aprovechamiento de los sistemas fluviales para la descarga de efluentes, y sus costas con fines recreativos, la consideración del sistema fluvial de manera integral se encuentra aún relegada socialmente, siendo el reconocimiento de la relevancia de los servicios ecosistémicos en las políticas públicas aún incipiente. Además, el aumento de las presiones por la intensificación de los usos productivos promueven la percepción de no infinitud de los recursos y dan un impulso al tratamiento de la temática, trasladando a la arena de la gestión la visión del valor de los ecosistemas naturales.

Si bien no se ha realizado aún un registro sistemático de estudios y prácticas en Uruguay que incorporen esta nueva perspectiva, son identificables por la importancia de la problemática y por las prácticas asociadas algunos casos particulares. Entre ellos se destaca el caso del Arroyo Maldonado en la ciudad de Maldonado, que ha incorporado en su proyecto de Plan Local categorías de suelo y un proyecto de Ecoparque, basados en estudios hidrológicos y biológicos de la UdelaR; otro caso es el del Arroyo Carrasco, en el Área Metropolitana de Montevideo, que propone salir de una histórica situación de degradación. Actualmente se elabora el primer plan de ordenamiento territorial urbano-rural, con el propósito de asegurar la sostenibilidad de un servicio ecosistémico (suministro de agua potable) en la cuenca de Laguna del Sauce, en el marco del cual se evaluarán económicamente varios servicios ambientales.

En la cuenca del Arroyo Carrasco habitan actualmente más de 300 mil personas (45 mil en asentamientos precarios). La histórica implantación de industrias en la cuenca alta ha sido una permanente fuente de contaminación desde tempranas

épocas. En 1975 comenzaron importantes obras de canalización de los humedales asociados al Arroyo Carrasco, con el objetivo de desecarlos y aprovechar el “suelo ocioso”. Esta perturbación eliminó un componente clave en la amortiguación y depuración de las aguas residuales que proveía dicho ecosistema,⁵ perjudicando las actividades de sectores sociales de mayores recursos aguas abajo, y dando visibilidad al problema. El reconocimiento de esta problemática llevó a iniciar una serie de acciones entre las que se encuentra el Plan Estratégico de gestión integrada de la Cuenca del Arroyo Carrasco (PECAC), realizado en el año 2007.

6.4 Desafíos de la visión ecosistémica

Uruguay debe transitar hacia un cambio en la forma de incorporar de manera sistemática a los ecosistemas, particularmente los cursos de agua, en la gestión de sus ciudades, tomando en consideración que:

- Para proteger y/o rehabilitar los servicios ecosistémicos se debe considerar la multiplicidad de procesos y escalas relacionadas. Las acciones futuras en los cursos de agua urbanos no deberán focalizarse exclusivamente en el sector que pasa por la ciudad, sino que deben contemplar interacciones longitudinales (aguas arriba y abajo), laterales (e.g. con la llanura de inundación) y verticales (con las aguas subterráneas).
- Se debe reconocer que la respuesta de los ecosistemas al uso humano no es lineal, predecible y controlable y que el funcionamiento de los procesos naturales presenta algunas características contra-intuitivas que provocan una discrepancia entre la percepción humana y el funcionamiento real. Esto requerirá la comprensión y apropiación de conocimiento científico actualmente disponible en los ámbitos de gestión.
- Es necesario incorporar en la planificación urbana, de manera sistemática, la consideración de que diversos usos de los recursos acuáticos en el ambiente urbano pueden ser contrapuestos y que pueden generar la pérdida de uno o más servicios.

5. Las campañas de monitoreo de la IM registran niveles de fósforo y nitrógeno total que superan ampliamente los niveles máximos establecidos por la norma nacional e internacional <http://www.montevideo.gub.uy/>

7. Gobernanza de las aguas urbanas

Entendiendo a la gobernanza como el proceso de interacción entre actores públicos y privados a distintos niveles y sus reglas de juego, tanto formales como informales, a partir de las cuales una sociedad determina sus conductas, toma y ejecuta las decisiones, a continuación se presentan tres dimensiones de la misma: la institucionalidad pública que planifica y gestiona las aguas urbanas, el marco normativo que las regula y las instancias de participación de organizaciones y la población en general en la toma de decisión.

7.1 Instituciones competentes en la planificación y gestión de los recursos hídricos

En lo concerniente a la planificación y gestión de los recursos hídricos existen diversas instituciones competentes que actúan a distintos niveles. En Uruguay el Poder Ejecutivo es la autoridad nacional competente en materia de aguas, correspondiéndole la formulación de las políticas en la materia. Sus competencias las ejerce a través de la DINAGUA, que depende jerárquicamente del MVOTMA e integra el Poder Ejecutivo. Este organismo tiene a su cargo la formulación del Plan Nacional de Recursos Hídricos y del Plan Nacional de Agua Potable y Saneamiento. Asimismo, el MVOTMA tiene competencia en las políticas de la calidad del ambiente, calidad de los cursos de agua y de los vertimientos, a través de la DINAMA.

Por otro lado, la OSE es responsable de prestar el servicio de agua potable de todo el país y del alcantarillado sanitario en los departamentos del interior. Se trata de un servicio descentralizado sujeto a tutela administrativa del MVOTMA. Si bien tiene autonomía presupuestal y no recibe ningún tipo de subsidio del Gobierno nacional, sus tarifas requieren aprobación del Poder Ejecutivo. Sus planes deben estar en consonancia con los lineamientos fijados por la DINAGUA.

Los Gobiernos departamentales del país son los responsables del drenaje urbano y de la definición de normativas de ocupación y uso de las zonas inundables. Asimismo, regulan las instalaciones sanitarias internas de las viviendas y la construcción de soluciones individuales para el saneamiento, habilitan

los servicios de “barométrica” y disposición final de los lodos y en algunos casos también prestan dicho servicio. Además de esto, la Intendencia de Montevideo es responsable por el servicio de Saneamiento del Departamento.

El Ministerio de Salud Pública tiene competencia para atender y controlar el saneamiento y abastecimiento de agua potable en el país en casos en que exista peligro para la salud humana, y establece normas de control de salud ambiental (Reglamento Bromatológico Nacional).

La Unidad Reguladora de Servicios de Energía y Agua (URSEA) es un órgano desconcentrado del Poder Ejecutivo que goza de autonomía técnica y se vincula con éste a través del Ministerio de Industria, Energía y Minería. Su competencia se extiende a las actividades “... referidas a la aducción y distribución de agua potable a través de redes en forma regular o permanente en cuanto se destine total o parcialmente a terceros, y la producción de agua potable, entendida como la captación y tratamiento de agua cruda y su posterior almacenamiento, en cuanto su objeto sea la posterior distribución”.

La Oficina de Planeamiento y Presupuesto (OPP) fue creada con el cometido de asistir al Poder Ejecutivo en la formulación de los planes y programas de desarrollo, así como en la planificación de las políticas de descentralización que serán ejecutadas.

La Comisión Asesora en Aguas y Saneamiento (COASAS), creada en la Ley de Política Nacional de Aguas, habilita la participación de los tres sectores: Gobierno, usuarios del agua y sociedad civil.

Por otra parte, la UdelaR, de carácter público, concentra los mayores esfuerzos de investigación y capacitación referidos a la temática de los recursos hídricos en general y de las aguas urbanas en particular.

Asimismo, existen políticas de mejora y acceso a la vivienda como el Programa de Mejoramiento de Barrio (PMB), que incluye entre otras obras financiables el acondicionamiento, ampliación y/o construcción de alcantarillado sanitario, conexiones domiciliarias, conexiones a redes urbanas y construcción de soluciones individuales o colectivas de tratamiento de aguas servidas, estaciones de bombeo, líneas de impulsión o plantas de tratamiento de efluentes y afines (ver <http://pmb.mvotma.gub.uy>). En el mismo sentido, MEVIR (Movimiento para la Erradicación de la Vivienda Rural Insalubre) construye conjuntos de viviendas con saneamiento integral.

El derecho humano al agua en Uruguay

Extraído del Artículo 47 de la Constitución (reforma aprobada por el 65% de los sufragantes habilitados, a través de un plebiscito popular realizado el 31 de octubre de 2004):

- La protección del ambiente es de interés general.
- El agua es un recurso natural esencial para la vida.
- El acceso al agua potable y el acceso al saneamiento constituyen derechos humanos fundamentales.
- La gestión sustentable, solidaria con las generaciones futuras, de los recursos hídricos y la preservación del ciclo hidrológico, constituyen asuntos de interés general.
- Los usuarios y la sociedad civil participarán en todas las instancias de planificación, gestión y control de los recursos hídricos, estableciéndose las cuencas hidrográficas como unidades básicas.
- Establecimiento de prioridades para el uso del agua por regiones, cuencas o partes de ellas, siendo la primera prioridad el abastecimiento de agua potable a poblaciones.
- La prestación del servicio de agua potable y saneamiento deberá hacerse anteponiendo las razones de orden social a las de orden económico.
- Las aguas (...) constituyen un recurso unitario, subordinado al interés general, que forma parte del dominio público estatal, como dominio público hidráulico.
- El servicio público de saneamiento y el servicio público de abastecimiento de agua para el consumo humano serán prestados exclusiva y directamente por personas jurídicas estatales.

7.2 Principales instrumentos normativos

Desde la entrada en vigencia de la Ley N° 18.308 de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible (LOTDS, de 2008) y de la Ley N° 18.610 de Política Nacional de Aguas (de 2009) se comenzó a producir un cambio de paradigma en torno a los recursos hídricos, avanzándose en la concepción de una planificación integrada del agua, el ambiente y el territorio. Si bien a la fecha no se ha consolidado el marco legal referido a la planificación y gestión de las inundaciones y el drenaje urbano del país, sí se ha podido avanzar en la coordinación institucional. Se presenta a continuación las normas más relevantes vinculadas a la temática (ver además www.parlamento.gub.uy y el Recuadro 13 en relación con el Derecho humano al agua en Uruguay, de acuerdo al Artículo 47 de la Constitución):

- La LOTDS dispone que “los Instrumentos de Ordenamiento Territorial deberán orientar futuros desarrollos urbanos hacia zonas no inundables identificadas por el organismo estatal competente en el ordenamiento de los recursos hídricos”.
- La Ley N° 18.610 (Ley de Política Nacional de Aguas), basada en el ordenamiento del territorio, conservación y protección del medio ambiente, incluye la preservación del ciclo hidrológico y la gestión sustentable de los recursos hídricos, el establecimiento de prioridades para el uso del agua por regiones, cuencas o partes de ellas, priorizando la prestación del servicio de agua potable y saneamiento ante otras demandas, además de crear los Consejos Regionales.
- La Ley N° 18.621, que crea al SINAE, establece que “las instituciones públicas responsables de formular y/o ejecutar planes de desarrollo, planes estratégicos sectoriales y/o planes de ordenamiento territorial, deberán introducir con carácter obligatorio procesos de planificación, de análisis y de zonificación de amenazas y de riesgos, de manera que las políticas emergentes de dicho proceso contengan las previsiones necesarias para reducir los riesgos identificados y atender las emergencias y desastres que ellos puedan generar”.
- La Ley N° 18.840 declara de interés general la conexión a las redes públicas de saneamiento

existentes en el país o que se construyan en el futuro.

- El Decreto del Poder Ejecutivo N° 78/010 define al saneamiento como aquellos sistemas de transporte de las aguas residuales por red de alcantarillado, en camiones barométricos y disposición final en planta de tratamiento, así como el almacenamiento y disposición final “in situ” con pozos filtrantes y/o infiltración al suelo.

7.3 Participación ciudadana en torno a las aguas urbanas

La normativa reciente da cuenta de una intención estatal hacia el involucramiento de los ciudadanos, organizados y no organizados, en procesos de desarrollo vinculados al agua, el territorio, el ambiente y la representación política a nivel local.⁶ Desde mediados del siglo XX la participación evolucionó del reclamo por los servicios públicos a la información y consulta, y a una muy incipiente co-gestión entre el Estado, los usuarios y/o la sociedad civil (Garcés, 2013).

Participación como reclamo.

La OSE y las intendencias departamentales tienen ámbitos para recibir reclamos con distinto grado de desarrollo. En particular, la IM tiene un Centro de Atención al Público y existe la figura independiente del Defensor del Vecino desde 2007.

Presupuestos y los financiamientos.

Las Juntas Departamentales (instancias legislativas del Gobierno departamental, electas por la ciudadanía) tienen competencias en la definición del presupuesto quinquenal, financiamientos externos y normativa urbana. La Junta Departamental de Montevideo tiene funciones de monitoreo sobre la política de saneamiento, que planifica y lleva adelante la División de Saneamiento del Departamento de Desarrollo Ambiental.

Involucramiento ciudadano en programas.

El programa de micro-financiamiento para las obras

internas a las viviendas, para su conexión al saneamiento, implica un involucramiento ciudadano en la planificación del sistema, el cual culmina al pagar la deuda. Asimismo, existe una activa participación de cabildo por parte de organizaciones de base por la vivienda urbana, para habilitar oficialmente saneamientos no convencionales que permitan aumentar la cartera de tierras apta para la urbanización.

Información y consulta ciudadana.

La ley uruguaya define instancias de información y consulta ciudadana en lo referente a temas ambientales, obligatorias para los proyectos con potenciales efectos ambientales negativos definidos por la DINAMA (Decreto 349/005). También existen instancias previstas en el Código de Aguas (Art. 177) para las obras asociadas a las concesiones de aguas del dominio público y en la LOTDS para los Planes Locales y Planes Especiales (Capítulo V, Art. N° 25). Estos últimos incorporan muchas veces mapas de riesgo y las categorías de uso y ocupación del suelo.

Co-gestión.

La COASAS, creada junto con la DINAGUA, tuvo un período de intensa participación de sus integrantes durante la redacción del proyecto de Ley de Aguas que culminó en 2010. A partir de allí, su participación en el quehacer sectorial ha sido marginal.

Desde 2011 fueron los Consejos Regionales de Cuenca y las Comisiones de Cuenca y Acuíferos, previstos en la Ley N° 18.610, los espacios privilegiados para promover la participación orgánica de representantes gubernamentales, usuarios (es decir, consumidores de agua) y de la sociedad civil (ONG, sindicatos, universidades, organizaciones sociales de base). Su carácter asesor, su escaso financiamiento y el reducido número de funcionarios de la secretaría técnica limitan su carácter transformador. Hasta el momento, las temáticas relacionadas con temas urbanos son marginales.

Más allá de la participación formal.

A nivel de la sociedad civil hay organizaciones sociales y ambientales, generalmente locales, que tienen el agua como su eje central del trabajo educativo, ecológico y político. Resalta el rol de la Comisión Nacional en Defensa del Agua y la Vida (CNDAV), durante la promoción del Plebiscito del Agua (Fig. 10).

6. Ley de Evaluación de Impacto Ambiental (Ley N° 16.466 su reglamento Decreto 349/005); Ley de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible (LOTDS) (Ley N° 13.308); Ley de Política Nacional de Aguas (Ley N° 18.610) y Ley de Descentralización y Participación Ciudadana (Ley N° 18.644).

Figura 10. Mural realizado durante la campaña del Plebiscito de 2004. Foto Gonzalo Gómez



7.4 Desafíos de la gobernanza de las aguas urbanas

- Los escenarios de incertidumbre y el gran número de variables sin control demandan una permanente evaluación y una reelaboración continua, creativa y participativa de las estrategias.
- En este sentido, el nuevo marco legal avanza hacia la planificación integrada del agua, el ambiente y el territorio, pero las estructuras del Estado distan mucho de estar preparadas para los procesos de gestión flexibles que requiere un enfoque integral. Por otra parte, las estructuras de participación de la población deberían actualizarse, tendiendo a una mayor participación creativa de los distintos sectores.
- Es necesario, asimismo, fortalecer las estructuras institucionales con competencias en las políticas de aguas urbanas, en particular aquellas que mejoran la coordinación entre organismos con diferentes roles en la formulación de políticas nacionales (organismo rector de la salud pública, prestador público del servicio de agua potable y saneamiento, de regulación y fiscalización de la prestación de los servicios y la defensa de los usuarios de los mismos).
- La escala de país pequeño es una ventaja comparativa, y permite operar intercambios interpersonales entre esferas nacionales y locales. Por otra parte, la escala de las ciudades permite definir estrategias de alta interacción con la población, lo que mitiga este problema.
- Asimismo, la red de producción de conocimiento se encuentra en general asociada a la gestión, lo que permite la incorporación de innovación a la misma.
- Si bien los conflictos de intereses existen, la gran cantidad de técnicos entre los cuadros políticos facilita el diálogo para la definición de prioridades.
- Resulta indispensable pasar de estructuras de comando y control a estructuras adaptativas. En ese sentido, los recientes Comité de Cuencas constituyen estructuras puente que procuran superar las dificultades antes planteadas, cuyo desempeño es necesario evaluar en un futuro cercano.

8. Desafíos hacia una gestión integrada de las aguas urbanas en Uruguay

En Uruguay, la evaluación desde distintos ámbitos de los conflictos históricos en la relación de las ciudades con sus aguas, y una consideración de las numerosas prácticas y experiencias asociadas, está promoviendo cambios, desde visiones sectoriales a una visión más

integradora. Esto se traduce en un proceso no lineal de transformaciones multiactorales y dinámicas, con grandes potencialidades, y no exento de dificultades.

Se reconoce en este proceso una serie de problemas críticos, algunos en proceso de resolución y otros de resolución compleja, así como problemas potenciales de gran relevancia que no han sido puestos aún en valor. Se ha desarrollado gran cantidad de buenas prácticas de las cuales extraer experiencias, identificándose asimismo vacíos o debilidades en el conocimiento de ciertas temáticas. Todo esto enmarcado en un contexto de conflictos de intereses, restricciones económicas y necesidad de atender prioridades de otros sectores del país.

Uruguay posee una serie de características básicas que podrían favorecer la evolución de la gestión tradicional de las aguas hacia una gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH). Algunos aspectos relevantes a destacar incluyen: una red hídrica bien distribuida, precipitaciones medias de 1 mil 300 mm, buena conectividad física y telecomunicacional de los centros poblados, una escala de país pequeña, un crecimiento económico sostenido, confianza en las instituciones, bajos niveles de corrupción y un crecimiento poblacional lento.

Para aproximarnos al complejo proceso de gestión de las aguas urbanas en Uruguay, se seleccionan a continuación algunas temáticas integradoras y los principales desafíos.

8.1 Las aguas en la planificación urbana

Las aguas son un componente esencial de las ciudades y por ende deben integrarse a la planificación de las mismas. Construir ciudad con las aguas es un desafío a múltiples escalas (edilicia, barrial, metropolitana). La construcción de paisajes urbanos que incorporen las infraestructuras de drenaje pluvial, que recuperen pequeños cursos de agua internos o el diseño integral de los frentes fluviales, no solo reducen los impactos y los costos de las infraestructuras y los riesgos de inundación; también incorporan espacios de uso y esparcimiento de la población, cambiando su carácter, de amenaza a recurso. En este sentido, existen buenas prácticas nacionales que van ganando terreno al viejo modelo que promueve la canalización y expulsión de las aguas lo más rápido posible, aún dominante. Afortunadamente, las buenas prácticas nacionales e internacionales están siendo motores de esta transformación, potenciada por la integración de técnicos jóvenes a los equipos institucionales (Fig. 11).

La consideración de las aguas en los instrumentos de ordenamiento territorial departamentales y urbanos en Uruguay es lenta pero sostenida, por ejemplo, a través de la incorporación de mapas de riesgo por inundación en las categorías de uso y ocupación. Los mapas de riesgo de inundación permiten apoyar técnicamente un proceso de transformación

Figura 11. Estanque de retención del edificio Diamantis Plaza, en Montevideo. Experiencia de reparto de cargas y beneficios, realizado con financiación por máximos aprovechamientos

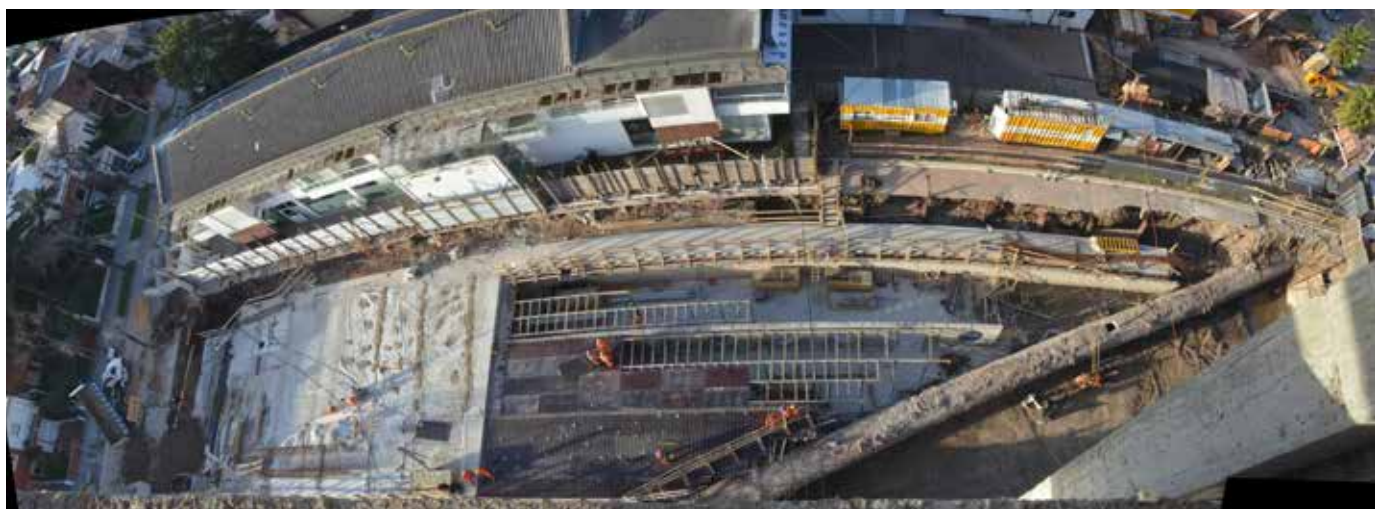


Foto: Intendencia de Montevideo

y gestión creativa de las zonas inundables, con eje en las necesidades de la población de la ciudad y la vulnerabilidad de los ecosistemas fluviales, aumentando la resiliencia de la ciudad e incorporando al río como valor en el imaginario de sus pobladores.

Todos los temas relacionados a la interacción entre la naturaleza y la calidad de vida urbana requieren profundización. Saber qué es posible transformar sin comprometer la integralidad de los sistemas naturales implica integrar conocimiento de los ecosistemas, de proyectistas urbanos, planificación territorial y educación social entre otros, actualmente existente en el país, pero en general en forma dispersa.

8.2 Agua potable: derecho humano prioritario e intensificación de los usos productivos

El abastecimiento de agua potable a poblaciones es la primera prioridad del uso de las cuencas, tal como lo establece la Constitución de la República (Art. 47). Sin embargo, la intensificación de los usos agropecuarios y sus implicancias en la calidad del recurso está afectando el agua bruta (superficial y subterránea) en forma creciente, requiriendo un mayor esfuerzo de seguimiento de los organismos competentes y un aumento de los costos en la producción del agua potable. El encendido de la alerta deriva, aún insuficientemente, en medidas coordinadas entre instituciones vinculadas a la producción y al ambiente, tendente a profundizar las políticas públicas en una dirección de mayor integración. En este contexto, las medidas territoriales de cuencas asociadas a recursos provenientes del sector urbano (cuya afectación es de particular relevancia) deberán ser consideradas en una estrategia de gestión interescalar e interinstitucional.

8.3 Un sistema de gobernanza adecuado al nuevo paradigma

La gestión de los sistemas acuáticos en áreas urbanas presenta un nivel de complejidad tal que solamente puede ser abordada desde enfoques interdisciplinarios y multisectoriales. Uno de los problemas fundamentales observados en Uruguay es la necesidad de superación de los análisis unisectoriales (basado fundamentalmente en el paradigma de comando y control) a enfoques integrales con capacidad real de promover esquemas adaptativos, e incorporando me-

canismos de monitoreo y aprendizaje efectivos para comprender las causas de los aciertos y los errores de las decisiones y planificaciones ya consumadas.

En la última década se constata en Uruguay avances muy importantes en la legislación y los arreglos institucionales relacionados directamente a la gestión de los recursos hídricos y el territorio. Sin embargo, la interacción real entre las diferentes disciplinas involucradas es aún limitada, así como la interacción fluida entre los diferentes niveles de gobierno. En el actual esquema de gobernanza, la creación reciente de ámbitos transversales como los Consejos Regionales y Comisiones de Cuenca, la red SINAE y el Comité de Ordenamiento Territorial, entre otros, son espacios a considerar y fortalecer.

8.4 Información y monitoreo para la gestión en entornos de incertidumbre

Planificar y gestionar las aguas urbanas en un escenario de cambio (variabilidad climática, cambios económicos, sociales y culturales, etcétera) requiere contar con la mejor información para la toma de decisiones.

La información en Uruguay se presenta dispar en los distintos subsectores. A modo de ejemplo, en tanto existen series largas de datos referidos a la cantidad del recurso, la información sobre calidad es reciente, focalizada e incompleta, al igual que la información sobre acuíferos o sobre aguas pluviales. En general, la información disponible sobre aguas es insuficiente para una correcta gestión de la problemática urbana. Por otro lado existe frecuentemente, muchas veces por desconocimiento y planificación adecuada, falta de coordinación en las iniciativas (e.g. colectas duplicadas), generando gastos innecesarios. La misma falta de coordinación entre los organismos que recopilan esta información, en ocasiones, no permite realizar cruzamientos y evaluaciones eficientes. Por otra parte, mucha de la información no tiene fácil acceso (en algunos casos por estar archivadas en formato papel) y/o es muy difícil su interpretación.

Fortalecer los sistemas de monitoreo adaptados a la realidad urbana permitirá identificar tendencias y posibles rupturas, para reformular las estrategias. Colaborará además con la transparencia en la gestión y con la participación, con base en información de calidad, indispensable para la toma de decisiones.

Otro desafío mayor es la necesidad de adecuar los productos de investigación académica, de forma de dotarlos de mayor utilidad para la gestión de las aguas. Si bien este aspecto ha mejorado sustancialmente en la última década, existe aún un amplio campo para lograr un mejor entendimiento entre la ciencia y la gestión.

8.5 Cobertura y accesibilidad a servicios de agua potable, saneamiento y drenaje de calidad

El acceso a servicios de agua potable, saneamiento y drenaje de calidad por parte de toda la población es uno de los desafíos actuales del país. Las áreas urbanizadas sin servicios en la actualidad son en general sectores con población asentada en zonas de alto riesgo (zonas fuera de ordenación) y/o de bajos recursos. Estos sectores poblacionales tienen una baja integración a los sistemas formales por las dificultades de enfrentar inversiones para emprender obras de remodelación de la sanitaria interna. Por otra parte, son éstas también zonas con bajas densidades poblacionales, lo que implica un aumento del costo per cápita de la inversión en redes.

En este sentido, la extensión del servicio sanitario adecuado tiene el gran desafío de adecuar su estrategia a las características urbanas específicas, debido a que no todas las zonas carentes de redes de saneamiento son factibles de recibirlas, y por lo tanto se deben buscar otros tipos de redes más económicas, así como la implementación de otras tecnologías de saneamiento que tratan las aguas servidas "in situ".

Cubrir la referida falta de servicios implica un desafío no solo de tendido de redes, sino un esfuerzo multidisciplinario e interinstitucional, con medidas a corto, mediano y largo plazos, para lo cual el involucramiento de la población es un factor fundamental. Por otra parte, además de la necesidad de que la extensión de servicios a zonas potencialmente urbanizables se realice en concordancia con los planes urbanos de la ciudad, los planes y proyectos deben integrar el saneamiento, los pluviales y el diseño de los espacios públicos asociados (calles, plazas, etcétera). Asimismo, requieren la incorporación de medidas no estructurales asociadas, entre otras, la adecuación organizativa de las instituciones y la capacitación de la población y de los técnicos locales en su uso y mantenimiento.

Una de las urgencias para la solución a esta problemática es la presión de los programas públicos de vivienda social para la implantación de viviendas en cumplimiento de la LOTDS, la cual exige la instalación de viviendas en zonas con servicios básicos.

Un tema que requiere un énfasis especial es la necesidad de implementar planes tendientes a la erradicación de los pozos negros o al menos a la mitigación de sus impactos, tanto para el ambiente como para la salud humana. Esta contaminación difusa, sumada al mal manejo de los residuos sólidos, genera contaminación de aguas subterráneas, cunetas y pequeños cursos y es uno de los principales problemas de las periferias de las ciudades de Uruguay. En todos los casos, dadas las condiciones de la población, para asegurar la sostenibilidad de los servicios debería considerarse la capacidad económica y financiera de los usuarios.

9. Consideraciones finales

Promover la valoración del recurso agua, la responsabilidad y la innovación de su uso, tanto consuntivo como no consuntivo (recreativo, educativo), no deberían ser tareas complementarias o secundarias, sino el eje central de una estrategia del manejo integrado de las aguas urbanas, junto con la mejora de los mecanismos de acceso de la información, de opinión y de control de la población. Esta inversión

en el empoderamiento de la población, conjuntamente con la mejora de las capacidades técnicas de los recursos humanos que forman parte del sistema de gestión y cambios en las estructuras de los prestadores del servicio tendientes a la descentralización, repercutirá directamente en un sistema de manejo flexible y adaptativo, contribuyendo así a la sostenibilidad del recurso agua en un contexto de gestión integral.

10. Bibliografía

- Blaikie, P.; Cannon, T.; Davis, I. y Wisner, B. (1996). *Vulnerabilidad: el entorno social, político y económico de los desastres*. Título original: *At Risk*, La Red.
- DINAMA (2012). Mapa del Uruguay con industrias con Solicitud de Autorización de Desagüe Industrial (SADI). (<http://www.mvotma.gub.uy/control-ambiental-de-emprendimientos-y-actividades/item/10003245-mapa-del-uruguay-con-industrias-con-tr%C3%A1mite-de-sadi.html>).
- DINAMA-JICA (2011). Proyecto sobre control de la contaminación y gestión de la calidad del agua en la cuenca del Río Santa Lucía. Informe final (Principal y Anexos), disponible en página web de DINAMA-MVOTMA.
- Garcés, A. (2013). La participación en la gestión de los recursos hídricos. Monografías de la *Revista Aragonesa de Administración Pública*. ISSN 1133-4797, XIV, Zaragoza, pp. 473-495.
- IM (2014). Informe de efluentes Industriales. Intendencia de Montevideo [<http://www.montevideo.gub.uy/ciudadania/desarrollo-ambiental/industrias/efluentes-industriales/efluentes-industriales>].
- INE (2011). Censo Nacional 2011. Instituto Nacional de Estadística, (<http://www.ine.gub.uy/censos2011/index.html>).
- Marsalek, J.; Jiménez-Cisneros, B.; Karamouz, M.; Malmquist, P.A.; Goldenfum, J. & Chocat, B. (2007). *Urban Water Cycle Processes and Interactions: Urban Water Series - UNESCO-IPH*.
- MVOTMA-DINAGUA (2011). Inundaciones urbanas: Instrumentos para la gestión del riesgo en las políticas públicas. Montevideo.
- OPP (2011). Uruguay Integra. Información de base para el diseño de un plan estratégico de residuos sólidos. Uruguay. 358 pp.
- Pacheco, J.P.; Arocena, R.; Chalar, G.; García, P.; González, M.; Fabián, D.; Olivero, V. y Silva, M. (2012). Estado trófico de arroyos de la cuenca de Paso Severino (Florida–Uruguay) mediante la utilización del índice biótico TSI-BI. *AUGMDOMUS* (<http://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/view/502/500>).
- Piperno, A y Sierra, P. (2013). Análisis de la interacción del sistema hídrico con el sistema territorial: el caso de Uruguay (inédito).
- Piperno, A.; Sierra, P.; Varela, A. y Failache, N. (2009). Inundaciones Urbanas en el Uruguay: del río amenaza al río oportunidad. Facultad de Arquitectura UdelaR, Uruguay.
- Rojas, F. (2014). *Políticas e institucionalidad en materia de agua potable y saneamiento en América Latina y el Caribe*. CEPAL, serie Recursos Naturales e Infraestructura. Santiago, Chile. 81 pp. ISSN 1680-9017.
- Romero, J.L. (2009). *La ciudad occidental. Culturas Urbanas en Europa y América*. Buenos Aires, Siglo XXI Editores.
- Silveira, L.; López, G.; Chreties, C. & Crisci, M. (2012). Steps toward sanearly warning model for flood forecasting in Durazno city in Uruguay. *Journal of Flood Risk Management*, 5:270-280.

Páginas web consultadas

- <http://datos.bancomundial.org>. Accesado el 10 de julio de 2014
- <http://pmb.mvotma.gub.uy>. Accesado el 13 de julio de 2014
- <http://www.lr21.com.uy>. Accesado el 2 de julio de 2014
- <http://www.montevideo.gub.uy>. Accesado el 7 de agosto de 2014
- <http://www.parlamento.gub.uy>. Accesado el 19 de junio de 2014
- <http://www.msp.gub.uy>. Accesado el 1 de agosto de 2014
- <http://www.higiene.edu.uy>. Accesado el 27 de julio de 2014
- <http://www.ose.com.uy>. Accesado el 10 de abril de 2014

11. Acrónimos

ANII	Agencia Nacional de Innovación e Investigación
CECOED	Centro Coordinador de Emergencia Departamental de Durazno
CNDAV	Comisión Nacional en Defensa del Agua y la Vida
COASAS	Asesora en Aguas y Saneamiento
CSIC	Comisión Sectorial de Investigación Científica, UdelaR
DINAGUA	Dirección Nacional de Aguas y Saneamiento
DINAMA	Dirección Nacional de Medio Ambiente
IANAS	Interamerican Network of Academies of Sciences
IDU	Equipo de Inundaciones y Drenaje Urbano de DINAGUA
IM	Intendencia de Montevideo
INE	Instituto Nacional de Estadística
LOTDS	Ley de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible
MEVIR	Movimiento para la Erradicación de la Vivienda Rural Insalubre
MVOTMA	Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
OMM	Organización Meteorológica Mundial
ONG	Organización No Gubernamental
OPP	Oficina de Planeamiento y Presupuesto
OSE	Obras Sanitarias del Estado
PADE	Plan de Acción Durante Emergencias
PDSUM	Plan Director de Saneamiento y Drenaje Urbano
PECAC	Plan Estratégico de Gestión Integrada de la Cuenca del Arroyo Carrasco
PEDECIBA	Programa de Desarrollo de la Ciencias Básicas de Uruguay
PHI-LAC	Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe, UNESCO
PMB-PIAI	Programa de Mejoramiento de Barrios, Programa de Integración de Asentamientos Irregulares
PSU	Plan de Saneamiento Urbano
SAT	Sistema de Alerta Temprana
SDF	Sitios de Disposición Final
SINAE	Sistema Nacional de Emergencias
UdelaR	Universidad de la República

Venezuela



Fuente del Paseo de los Próceres en Caracas, Venezuela. Foto: ©iStock.com/moracarlos.



“Venezuela cuenta con más de 28 millones de habitantes, de los cuales 80% se concentra en apenas 20% del territorio nacional. El 60% de la población se encuentra ubicada en el arco Andino-Costero, la región con menor disponibilidad de recursos hídricos. Debido a ello, se generan problemas asociados con su distribución y prestación de servicios de saneamiento, además de aquellos causados por la dislocación de grandes volúmenes de agua fuera de sus cuencas de origen”

Agua Urbana en Venezuela

**Ernesto José González, María Leny Matos,
Eduardo Buroz, José Ochoa-Iturbe,
Antonio Machado-Allison, Róger Martínez
y Ramón Montero**

Resumen

Venezuela cuenta con más de 28 millones de habitantes, de los cuales 80% se concentra en apenas 20% del territorio nacional. El 60% de la población se encuentra ubicado en el arco Andino-Costero, la región con menor disponibilidad de recursos hídricos. Debido a ello se generan problemas asociados con su distribución y prestación de servicios de saneamiento, además de aquellos causados por la dislocación de grandes volúmenes de agua fuera de sus cuencas de origen. Para el suministro de agua potable y los servicios de saneamiento, se cuenta con nueve Empresas Hidrológicas Regionales y ocho Empresas Descentralizadas a nivel nacional. El suministro de agua potable en las grandes ciudades depende, principalmente, de fuentes superficiales (embalses), con más de 90% de cobertura de la población urbana, más de 80% de recolección de aguas servidas, pero con menos de 50% de tratamiento de estas aguas; actualmente, se desarrollan varios proyectos de saneamiento de cuencas y de tratamientos de aguas servidas. En lo que respecta a la relación de las aguas urbanas y la salud, en Venezuela se han presentado numerosos casos de enfermedades asociadas a los recursos hídricos, entre las que se destacan las diarreas, amibiasis, malaria y dengue, con altas incidencias en los estratos más pobres de la población. En este capítulo también se hace una aproximación a la salud ambiental desde el espacio de la vivienda y los hogares, haciendo comentarios sobre indicadores e índices destinados a medir la interacción agua-salud ambiental. Igualmente se discute sobre la alta vulnerabilidad del país en el régimen hídrico, por lo que es de vital importancia monitorear el efecto del cambio climático sobre las distintas fuentes empleadas para abastecimiento, ya que la mayoría de los efectos adversos están relacionados con la disponibilidad de agua. Se han presentado fenómenos de sequía extrema y de inundaciones en las principales ciudades del país, cada uno de ellos con consecuencias negativas para las poblaciones urbanas, por lo que se señala la importancia de una planificación oportuna (planes maestros) de las poblaciones para evitar futuros daños a personas y objetos. También se des-

tacan medidas estructurales y no estructurales para mitigar los efectos de las inundaciones en las ciudades. Se concluye que se deben implementar planes de manejo de los recursos hídricos que sean el resultado de una interacción bien planeada y concebida entre la tecnología, la sociedad, la economía y las instituciones, con el propósito de balancear la oferta y la demanda del recurso, ante escenarios de ocurrencia de extremos hidrológicos. Así mismo, los planes de gestión de los recursos hídricos y la mitigación de los problemas relacionados con el ciclo del agua en las zonas urbanas, deben contar con la participación de las comunidades organizadas.

1. Introducción

Venezuela tiene alrededor de 28 millones de habitantes, distribuidos en 916 mil 445 km² de territorio. Según el Censo Nacional del año 2011, la densidad poblacional es de 29,6 habitantes/km², con más de 87% de la población habitando zonas urbanas y alrededor de 12% en zonas rurales (INE, 2013).

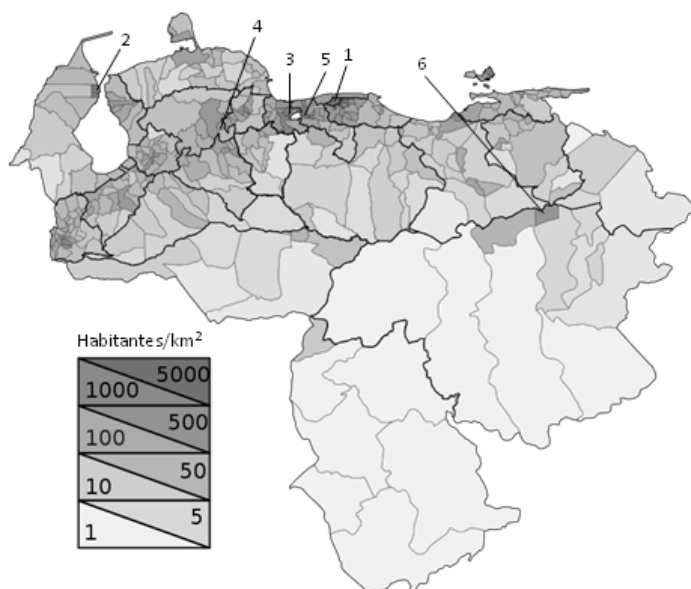
El 80% de la población venezolana está concentrada en 20% del territorio nacional, de la cual más

de 60% se encuentra ubicada en el arco Andino-Costero; específicamente 40% en las ciudades más importantes del país como son: Caracas, Maracaibo, Valencia, Barquisimeto, Maracay y Ciudad Guayana, las cuales cuentan con la menor disponibilidad de agua (Figura 1).

Dado que el mayor porcentaje de la población se encuentra en la zona con menor disponibilidad de agua, es evidente que pueden generarse problemas asociados con su distribución y prestación, como es el servicio de saneamiento, además de aquellos causados por la dislocación de grandes volúmenes de agua fuera de sus cuencas de origen. Todo ello hace fundamental la caracterización del ciclo del agua urbana, con la finalidad de garantizar los servicios de suministro de agua potable y saneamiento y el abordaje de diversos problemas para procurar propuestas que permitan su mitigación.

En este capítulo se hará un resumen de los principales aspectos relacionados con las aguas en zonas urbanas de Venezuela, particularmente de las principales ciudades del país, tales como el suministro de agua potable y saneamiento, el tratamiento de las aguas, aspectos de salud y temas relativos a los posibles efectos del cambio climático.

Figura 1. Densidad poblacional en Venezuela. Ciudades: 1) Caracas, 2) Maracaibo, 3) Valencia, 4) Barquisimeto, 5) Maracay, y 6) Ciudad Guayana. Modificado de INE (2013)



2. Servicio de agua potable en zonas urbanas

El suministro de agua potable en Venezuela proviene en gran medida de fuentes de origen superficial. Según González Landazábal (2001), la distribución espacial del escurrimiento superficial en Venezuela se caracteriza por los siguientes aspectos:

- El volumen medio anual escurrido en el territorio de Venezuela y generado por las precipitaciones que caen sobre él, sin incluir la Guayana Esequiba, se estima en 705 millones de m³.
- Las cuencas de los ríos ubicadas en los estados Amazonas y Bolívar, que contribuyen al Río Orinoco por la margen derecha, generan alrededor de 82% del volumen antes mencionado.
- La región del país situada al norte del Río Orinoco genera el 18% restante, del cual 9% lo aportan los afluentes del Río Orinoco de los Llanos Centro Occidentales, el otro 9% corresponde al Lago de Maracaibo, la vertiente del Mar Caribe, la cuenca del Lago de Valencia y Golfo de Paria.

A partir de 1990 se inició en Venezuela la reestructuración de los organismos responsables de la prestación del servicio de agua potable y saneamiento, con el objetivo de pasar de un esquema de prestación centralizado, a un modelo que tomara en cuenta los principios de corresponsabilidad y de participación de cada habitante de la nación venezolana, garantizados en los artículos 60, 70 y 184 de la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, como punto de partida para incorporarlos legítimamente en el diseño de las políticas, planes y proyectos de agua y saneamiento relacionados a su comunidad y entorno, contribuyendo de este modo a la construcción del Poder Popular y al intercambio de saberes, entre otros aprendizajes. Para ello, se creó a HIDROVEN como casa matriz del sector agua potable y saneamiento, de naturaleza rectora y supervisora, con diez empresas hidrológicas filiales regionales (actualmente son nueve), con el objetivo de evitar la privatización de la prestación del servicio y descentralizar la administración a fin de lograr el funcionamiento de las empresas filiales con ingresos y recursos propios, provenientes de la cancelación de la tarifa, además del aporte del Gobierno nacional a través de subsidios económicos.

El Gobierno central se mantiene como dueño de las acciones de las Empresas Hidrológicas Regionales, ya que su accionista único es HIDROVEN, que funge de casa matriz de dichas empresas, y a su vez el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MINAMB) es el dueño de 95% de las acciones de HIDROVEN. El 5% restante es también propiedad de otro ente gubernamental. En el caso de los estados Amazonas y Delta Amacuro, pertenecientes a la región de Guayana, el servicio es también prestado por un ente gubernamental, como lo es la Corporación Venezolana de Guayana (CVG).

La distribución de las Empresas Hidrológicas Regionales (Figura 2) se describe a continuación (HIDROVEN, 2008):

- HIDROCAPITAL: Acueducto Metropolitano de Caracas, Estados Vargas y Miranda.
- HIDROCENTRO: Estados Aragua, Carabobo y Cojedes.
- HIDROLAGO: Estado Zulia.
- HIDROFALCÓN: Estado Falcón.
- HIDROSUROESTE: Estado Táchira y Municipio Ezequiel Zamora del estado Barinas.
- HIDROANDES: Estados Trujillo y Barinas (excepto Municipio Ezequiel Zamora).
- HIDROPÁEZ: Estado Guárico.
- HIDROCARIBE: Estados Sucre, Nueva Esparta y Anzoátegui.
- HIDROLLANOS: Estado Apure.

Existe también una serie de Empresas Descentralizadas para la prestación del servicio de agua potable y saneamiento, con participación de gobernaciones y alcaldías, así como de la Corporación Venezolana de Guayana (CVG), la cual administra la Gerencia de Obras Sanitarias e Hidráulicas (GOSH) para los estados Amazonas y Delta Amacuro.

La Junta Directiva es elegida por la Asamblea de accionistas y es independiente del Poder Nacional. Son usualmente del ámbito estatal y se ocupan de la gestión y operación de los servicios de agua potable y saneamiento. Actualmente existen las siguientes empresas descentralizadas en el país:

- HIDROLARA: Estado Lara.
- AGUAS DE MONAGAS: Estado Monagas.
- AGUAS DE MÉRIDA: Estado Mérida.
- HIDROS PORTUGUESA: Estado Portuguesa.
- AGUAS DE YARACUY: Estado Yaracuy.
- HIDROBOLÍVAR: Estado Bolívar.

Las aguas subterráneas son el producto de la infiltración del agua generalmente meteórica, a través de formaciones geológicas con características físicas favorables como porosidad y permeabilidad que permiten su transporte, almacenamiento y aprovechamiento, sea éste natural o artificial por medio de construcciones de pozos de bombeo o manuales. En ese sentido, los factores que afectan la ocurrencia, acumulación y tipo de agua subterránea son el clima, litología, geomorfología y tiempo (edad del agua). Por su parte, dentro de dichos factores, el ambiente geológico incluye las relaciones estratigráficas y las estructuras geológicas, dirección y variabilidad del flujo del agua subterránea, ubicación del área de recarga y de descarga y su composición. Estos factores han sido bien documentados y estudiados por Hem (1985), Domenico y Schwartz (1990), Custodio (1996), Ettazarini (2004), Rajmohan y Elango (2004), Van der Hoven y col. (2005) y Rao (2006).

Otro de los factores que controlan la acumulación y composición de las aguas subterráneas es la actividad tectónica (Hendry y Schwartz, 1990; Van der Hoven y col., 2005). Su importancia radica en que durante los eventos orogénicos ocurre no sólo el levantamiento de grandes cordilleras montañosas, sino también la formación de cuencas sedimentarias, las cuales posteriormente pueden formar importantes reservorios de hidrocarburos y de agua en las áreas intramontañas (Hidalgo y Cruz-Sanjulián, 2001).

Igualmente, las actividades antrópicas realizadas en áreas urbanas tienen un impacto importante sobre la condición final del agua. De este modo, los solutos pueden ser directamente incorporados al agua subterránea a través de las aguas servidas de origen doméstico, de desechos industriales, de rellenos sanitarios, de actividades agropecuarias, por derrame de hidrocarburos, por escape de gasolina desde tanques de almacenamiento y por sobreexplotación de pozos (Hem, 1985; Navarro y col., 1988; Domenico y Schwartz, 1990; Custodio, 1996; Magrinho y col., 2006).

La historia geológica de Venezuela estuvo caracterizada por un alto dinamismo, asociado a los más importantes periodos orogénicos ocurridos tanto a nivel mundial como regional (Villamil, 1999). Esto trajo como consecuencia que en todo el territorio venezolano existan condiciones para la acumulación de grandes volúmenes de agua, asociados a una amplia variedad de ambientes geológicos, particu-

larmente en grandes y pequeñas cuencas sedimentarias donde están presentes formaciones geológicas Cuaternarias. Decarli (2009) señala que cerca de 55% de la superficie del país está cubierta por sedimentos poco consolidados o no consolidados y por rocas consolidadas con buenas posibilidades para la formación de unidades acuíferas. La infiltración del agua meteórica y migración a través de estos acuíferos produjo variaciones importantes en lo referente a la composición química de sus aguas, debido a los procesos de meteorización química durante la interacción agua-roca.

En Venezuela, las zonas con mejores disponibilidades de aguas subterráneas y de acuíferos de importancia regional se encuentran principalmente en las zonas de la Región Central, en el sur y planicie del Lago de Maracaibo, en el piedemonte de la región Andina de los Llanos Centrales y Occidentales, en la Mesa de Guanipa, al centro del estado Anzoátegui y en algunos sectores de la extensa franja de los acuíferos costeros. La ubicación relativa de los principales acuíferos en Venezuela se presenta en la Figura 3.

Durante el desarrollo de las grandes ciudades, potenciales áreas de recarga ubicadas a nivel de piedemonte de las regiones montañosas que las circundan son vulneradas o eliminadas, esto como consecuencia de la construcción de grandes urbanismos, así como por la deforestación de importantes zonas boscosas. Igualmente, la construcción y asfaltado de vías de acceso y de circulación pueden conllevar a limitar la recarga local del agua subterránea, lo que conlleva a que en atención al equilibrio hidrológico, sólo ocurra la infiltración profunda producto del régimen de flujo regional, permitiendo que ocurra un déficit de agua en lo que a este equilibrio se refiere. Por ello, durante los eventos de precipitación atmosférica, grandes volúmenes de agua se manifiestan como escorrentía superficial, mientras que la escorrentía subterránea tiene poca preponderancia.

En ese sentido se presume que debido al creciente desarrollo demográfico y económico, las aguas subterráneas han estado sometidas a una continua merma en su disponibilidad y calidad, particularmente hacia las áreas ubicadas al norte y centro del país, así como en aquellas zonas donde existen actividades económicamente importantes como la ganadería, la agricultura y la exploración y explotación minera y de hidrocarburos. Las reservas renovables de aguas subterráneas del país se ubican en 22 mil 312 millo-

nes de m³, estimándose que de este recurso hídrico es aprovechado 50% para el abastecimiento de agua potable, industrial y de riego, a través de una red de obras de captación que sobrepasa los 100 mil pozos (FUNDAMBIENTE, 2006; Decarli, 2009; Durán, 2011).

Un ejemplo de uso del agua subterránea en las ciudades lo constituye el Valle de la ciudad de Caracas, importante área ubicada al norte de Venezuela que abarca una superficie de 76 km², presentando una extensión en sentido este-oeste de 14 km, desde la urbanización conocida como Propatria hasta la Parroquia de Petare, con un ensanchamiento de 4 km desde la urbanización San Bernardino hasta la urbanización El Paraíso en sentido norte-sur. Dicho valle está conformado por sedimentos saturados con agua, de edad cuaternaria, compuestos por capas de arenas y gravas, capaces de aportar un suministro útil de agua que le permite constituir prominentes unidades de acuíferas.

En los últimos 40 años se han estudiado muy poco las aguas subterráneas de Caracas. Entre los estudios hidrogeológicos más resaltantes se pueden citar los efectuados por Delaware (1950), Gomes (1997, 1999) y TAHAL (2002). Este último realizó un estudio para la ubicación de nuevos pozos en todo el valle. Por su parte, Freile (1960) clasificó hidrogeológicamente las aguas subterráneas de Caracas. Finalmente, Singer (1977a, 1977b), Rocabado (2000) y Kantak (2001) estudiaron la cobertura sedimentaria del Valle de Caracas.

De toda el agua potable que se consume en la ciudad de Caracas, más de 90% proviene de los acueductos Tuy I, Tuy II y Tuy III, los cuales se alimentan de las cuencas hidrográficas de los ríos Tuy y Camatagua. Estas cuencas han sido afectadas en los últimos años por largos periodos de sequía, conjugados con cortos periodos de lluvias y una mayor demanda del suministro debido a un incremento en el número de habitantes de la capital del país.

Datos suministrados (Decarli, 2009) indican que la ciudad de Caracas consume alrededor de 18 mil litros/segundo (l/s), de los cuales alrededor de 1 mil 200 l/s provienen de los más de 500 pozos de extracción de aguas subterráneas existentes. Aunque la suma del agua subterránea encontrada en los diferentes acuíferos del Valle de Caracas no puede sostener los requerimientos de toda la población, ésta puede ser una fuente alterna de abastecimiento para zonas que así lo requieran. Para ello es impor-

tante su evaluación en términos de sus características acuíferas, caudales, dirección de flujo, identificación de las áreas de recarga, composición y tipos de aguas presentes e inventario y ubicación de los pozos de mayor productividad.

En ese sentido, la explotación del acuífero fue recientemente estimada en aproximadamente 1,5 m³/s, ubicando sus principales centros de bombeo en sectores como El Paraíso, entrada de El Valle y el estado Miranda. Los mayores caudales se encuentran en el sector El Paraíso, con pozos de 20 l/s hasta más de 40 l/s (Gomes, 1997). Los mapas de niveles piezométricos producidos por el Ministerio del Ambiente (MINAMB) muestran que el flujo en el valle es en sentido de las montañas (zonas de recarga laterales) hacia los principales centros de bombeo y hacia el Río Guaire (salidas del sistema acuífero).

Las transmisividades (o medida de la longitud de agua que puede ser transmitida horizontalmente a través de una unidad, bajo la influencia de un gradiente hidráulico), según MINAMB, varían de 60 a 120 m²/día, con un promedio de 90 m²/día. Las permeabilidades promedio obtenidas por la división de la transmisividad entre el espesor saturado varían de 2,6 m/d (media geométrica) a 7,0 m/d (media aritmética). Las conductividades horizontales hidráulicas, por su parte, varían entre 1 y 40 m/día.

Figura 3. Ubicación de los acuíferos en Venezuela



1) Cuenca del Río Motatán, 2) sistema de riego del Río Guárico, 3) Valle de Caracas, 4) Mesa de Guanipa, 5) Valle de Quibor, 6) Llanos orientales, 7) acuífero de Coro, 8) Llanos occidentales, 9) acuífero de Barlovento, y 10) acuífero de Paraguaná. Modificado de Rojas y Serrano (2007)

La zona de recarga del acuífero Valle de Caracas viene de las montañas, sobre todo a través de las quebradas principales que llegan a él. Asimismo, en este acuífero, otra importante entrada de agua proviene a partir de las pérdidas en la red de abastecimiento de agua potable de HIDROCAPITAL que, según Seiler (1996), están en el orden de 1 a 2 m³/s.

Otro ejemplo que se debe mencionar es el proyecto de integración de la gestión del agua subterránea y del agua superficial en la región centro-occidental de Venezuela, cuyo objetivo es transferir recursos hídricos desde la cuenca del Río Yacambú (estado Lara) para: a) aumentar el área agrícola bajo riego en el Valle de Quíbor, que es de alta productividad, b) mediante el uso conjunto de agua superficial y subterránea, recuperar el acuífero del Valle de Quíbor (área identificada con el número 5 en la Figura 3), cuya disponibilidad y calidad de agua se han deteriorado considerablemente por la explotación excesiva, y c) proporcionar abastecimiento adicional de agua en bloque a HIDROLARA, la compañía pública de servicios de agua potable y saneamiento de la región (Garduño y Nanni, 2003). Según los autores, la experiencia de este proyecto permitió hacer la reco-

mendación de incluir los acuíferos dentro de la definición de “cuenca” en la Ley de Aguas, aprobada en el año 2007, entre otras recomendaciones.

El agua subterránea representa una alternativa puntual para el fortalecimiento en el suministro en algunos sectores en el aporte de agua para las ciudades. Según Escalona y col. (2009), el tratamiento del agua superficial es más costoso que el del agua subterránea, dado el alto tratamiento con sustancias químicas. El agua subterránea es menos costosa en su producción, ya que al pasar por los diferentes estratos o configuraciones del subsuelo se va realizando un filtrado natural, por lo cual se reducen los residuos, y evitando el tratamiento con químicos, pues sólo se le incorpora cloro para su desinfección. Sin embargo, es susceptible de contener generalmente metales como hierro y manganeso en altas concentraciones, así como una alta dureza, lo cual puede dificultar o encarecer muchas veces su tratamiento. Por ello, es importante su evaluación en términos de sus características acuíferas, caudales, dirección de flujo, identificación de las áreas de recarga, composición y tipos de aguas presentes e inventario y ubicación de los pozos de mayor productividad.

Agua potable y saneamiento para la ciudad de Caracas

Situación actual y perspectivas de la gestión del agua potable y el saneamiento del Área Metropolitana de Caracas

El abastecimiento de agua potable del Área Metropolitana de Caracas (AMC) fue configurándose desde el año 1950 como un sistema regional que implica la captación y trasvase de grandes volúmenes de agua desde las cuencas de los ríos Tuy y Guárico, además de incorporar pequeños aportes de la cuenca del Río Guaire. Después de distintas incorporaciones y ajustes, el abastecimiento de agua para la Región Metropolitana de Caracas (RMC) quedó configurado en cinco sistemas que produjeron y distribuyeron en 2011 casi 26 mil litros por segundo (lps) al conjunto; se trata de los sistemas Metropolitano, Litoral, Fajardo, Losada-Ocumarito y Panamericano (Martínez, 2012). Un sexto sistema, el de Barlovento, atiende a la región del mismo nombre y completa el conjunto de sistemas que maneja la Empresa Hidrológica HIDROCAPITAL. Para el AMC, la producción de agua potable del Sistema Metropolitano es de 17,7 metros cúbicos por segundo (m³/s), ofreciendo una dotación media holgada per cápita de 470 litros por persona por día (lpd) (Martínez, 2012).

El hecho de que la mitad de la población habita en áreas no planificadas, en cotas de servicio altas, con limitados sistemas de almacenamiento, bombeo y distribución, implica que la dotación de 470 lpd no beneficia por igual a todos los habitantes (IMUTC, 2012). No se conoce la existencia de

estudios integrales recientes que determinen el suministro real de agua potable en los asentamientos informales del AMC, pero estudios parciales realizados en algunos barrios señalan racionamientos que duran varios días y una dotación inferior a lo recomendado por las normas sanitarias (Martínez, 2012). Otra debilidad de la red de distribución que se evidencia con creciente frecuencia, consiste en la rotura de tuberías y la dificultad para sustituirlas. Gran parte de red de distribución tiene más de 50 años de construida, por lo cual su vida útil feneció, requiriéndose su completa sustitución. Las pérdidas por fugas en la distribución alcanzan 5,4 m³/s; las mediciones individuales sólo alcanzan 14% de los suscriptores (IMUTC, 2012), y la proporción de agua no facturada es de 60% desde hace varios años (HIDROCAPITAL, 2002).

En relación con la red de alcantarillado sanitario, desde el punto de vista técnico, el sistema debería recoger en forma separada las aguas residuales de las aguas de lluvia, descargándolas en colectores marginales a las quebradas que afluyen hacia el Río Guaire. Al llegar a la canalización del Río Guaire, sus colectores marginales izquierdo y derecho deberían captar la totalidad de las aguas residuales. En momentos de exceso de caudal por el ingreso de aguas de lluvia a los colectores cloacales, unos aliviaderos colocados en el empalme entre los colectores marginales de las quebradas y los del Río Guaire deberían evacuar el exceso, muy diluido, hacia el Río Guaire. Aunque ya antes de 1930, en el Plan General de Alcantarillado del Ministerio de Obras Públicas estaba previsto que el Río Guaire no recibiese aguas residuales y que éstas se depuraran antes de su descarga, después de 90 años ello no se ha logrado (Martínez, 2012).

A finales de la década de 1950 se diseñaron nuevos colectores marginales que, en conjunto, son capaces para transportar un caudal de 60 m³/s, más de 3 veces el gasto medio actual del acueducto (Pérez Lecuna, 2005). A pesar de que estos colectores marginales fueron completados desde la década de 1970, no funcionan adecuadamente debido a la falta de mantenimiento del sistema, al crecimiento de la informalidad urbana y a debilidades en la prosecución de los planes de recolección y tratamiento, incluyendo el más reciente Proyecto de Saneamiento del Río Guaire. Respecto a los colectores en las áreas informales, éstos se han construido mayoritariamente gracias a la participación de las comunidades sin seguirse normas técnicas, por lo que funcionan mal, ocasionando infiltraciones al suelo y descargas en el drenaje natural.

Consecuencias sociales y ambientales de la deficiente gestión del agua potable y el saneamiento en el AMC. Perspectivas futuras

Como consecuencias de la actual forma de gestión de los sistemas de agua potable y saneamiento, persisten algunos problemas de carácter social, económico y ambiental. Respecto a problemas sociales, las estadísticas de morbilidad del año 2012 (Martínez, 2013) indican la mayor incidencia de enfermedades de transmisión hídrica en aquellas parroquias del Municipio Libertador donde existen carencias de los sistemas de agua y saneamiento, y donde se concentra la población más pobre.

Respecto a problemas económicos, puede señalarse que el limitado acceso a los servicios de agua potable y saneamiento repercute negativamente en el ingreso familiar de la población de menores recursos económicos, quienes deben adquirir agua a un precio más alto a través de operadores privados mediante camiones cisterna que no están debidamente supervisados, y que no garantizan la provisión de agua potable “segura” (Jouravlev, 2004). Otra consecuencia económica de las carencias en las redes sanitarias con importantes repercusiones en las estadísticas vitales se refiere al incremento de la vulnerabilidad en las áreas informales. Las deficientes redes de agua y cloacas existentes generalmente ocasionan filtraciones al terreno, debilitándolo para el soporte de estructuras, provocando deslizamientos en masa e incrementando la vulnerabilidad en caso de sismos. De acuerdo a los reportes de Protección Civil, en el Distrito Capital los deslizamientos en masa ocupan

72% de las incidencias, mientras que el 28% restante se distribuye entre derrumbes, inundaciones, asentamientos del terreno y otros (Grases, 2006).

Por último, desde el punto de vista de los impactos al ambiente, la construcción de redes cloacales no planificadas implica descargas no tratadas hacia las quebradas. Pero aunque se resolviera la captación de todos los efluentes hacia los colectores marginales del Río Guaire, tampoco se ha logrado el tratamiento a nivel general, con lo cual se mantiene la descarga de aguas crudas a este río, y por consiguiente al Río Tuy y al Mar Caribe, generando graves problemas de eutrofización y contaminación. Por otra parte, la inexistencia de una política tarifaria que propenda al ahorro implica la no racionalización del consumo de agua potable, lo que conduce al uso excesivo de aguas frescas con irreversibles efectos ambientales.

Si en las próximas dos décadas no se producen medidas que tiendan a racionalizar el consumo y a reciclar aguas residuales, el consumo del AMC al año 2031 podría situarse en 21,3 m³/s, mientras que en la RMC podría alcanzar 34,2 m³/s. Ello requerirá utilizar los sistemas Tuy I al IV, sin posibilidades de holgura en el funcionamiento de los sistemas de abastecimiento (Martínez y col., 2013). Respecto a la producción de aguas residuales, si no se implementan medidas para racionalizar el consumo, separar las aguas de lluvia y reciclar las aguas residuales, la producción del AMC al año 2031 podría situarse en 34,5 m³/s, mientras que en la RMC podría alcanzar 57,5 m³/s. Por su parte, si no se resuelve el problema del tratamiento, la contaminación de las aguas de los cursos naturales se mantendrá y ocasionará efectos nocivos irreparables en los ecosistemas submarinos afectados por la descarga del Río Tuy, siendo su cuenca la que mayores efectos nocivos ocasiona en el Mar Caribe (Martínez y col., 2013).

Propuesta de política

Una evolución deseable de la gestión del agua tendría que convocar la participación de actores institucionales de los distintos niveles de gobierno (nacional, regional y local), manteniendo la incorporación de las comunidades organizadas que es una tendencia internacional (WSP, 2008), pero dentro de un esquema que no soslaye responsabilidades de la administración pública. De acuerdo con los análisis realizados para los diferentes sistemas de abastecimiento que hoy conforman HIDROCAPITAL, aparentemente a nivel global habrá suficiente agua desde las fuentes actuales –con la inminente incorporación del Sistema Tuy IV– para sostener el crecimiento de toda la Región Metropolitana. Sin embargo, es necesario racionalizar los consumos para disminuir las dotaciones per cápita, y ésta es una tarea que implica necesariamente sumar esfuerzos con los municipios (Martínez y col., 2013). La sustitución de tuberías de distribución para evitar fugas, la regularización de las tomas clandestinas, la micro medición y el cobro por la prestación del servicio que propendan a un consumo responsable y viabilicen el equilibrio financiero para la prestación del servicio, es una labor que bien podría hacerse desde entidades locales.

Es necesario adoptar un nuevo arreglo institucional donde los 17 municipios de la Región Metropolitana –individual o mancomunadamente– puedan gestionar aquellos componentes de los sistemas de agua potable y saneamiento más cercanos al usuario final, esto es, en materia de acueducto, las redes locales de distribución de agua potable; en materia de cloacas, los empotramientos y los sistemas secundarios de recolección de aguas residuales y, en materia de drenaje, los sistemas secundarios y terciarios de drenaje urbano.

Subyace en estas líneas la idea de que para lograr un manejo sostenible del agua, las políticas públicas deberían tener una contrapartida urbanística. El tema requiere aproximaciones transdisciplinarias que conjuguen aportes en el campo sociológico, económico, político, jurídico, ingenieril, entre otros, que permitan reconocer los problemas y proponer cambios que contribuyan a la toma de decisiones.

Descripción del suministro de agua a la ciudad de Caracas

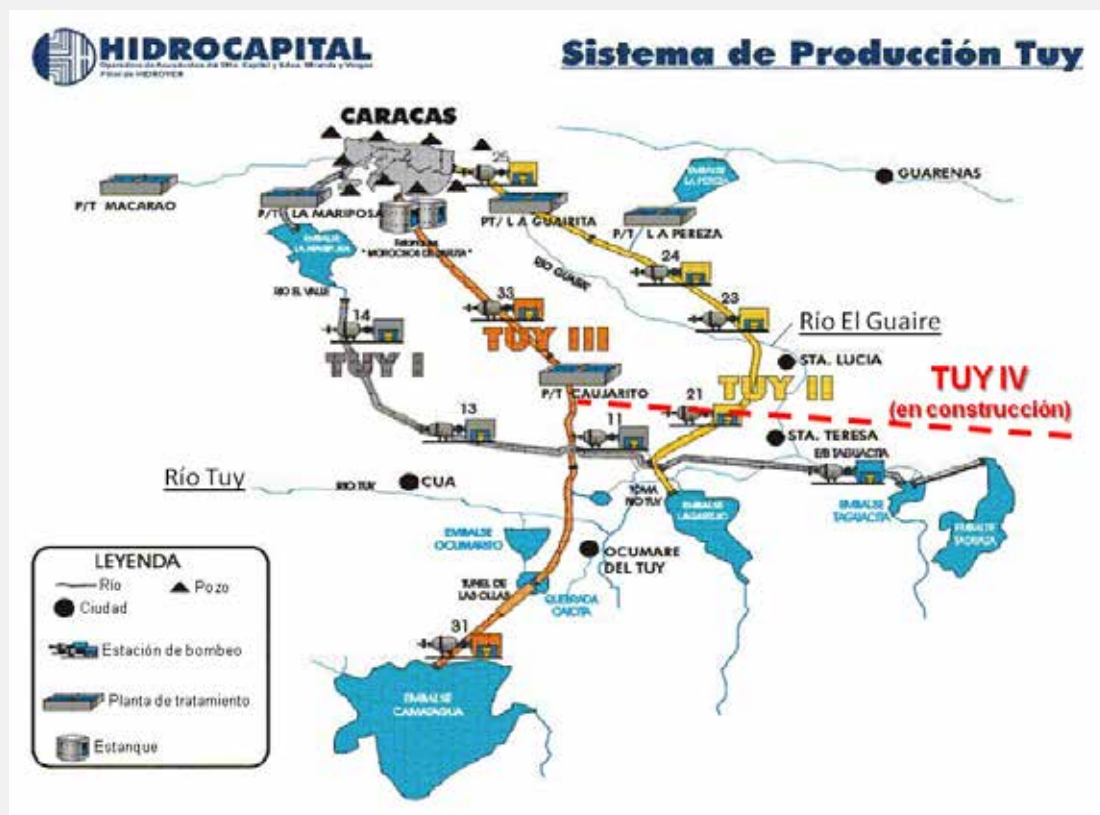
En lo que respecta al suministro de agua para abastecimiento, la ciudad de Caracas depende de fuentes superficiales (embalses) ubicadas en regiones lejanas y en cotas mucho menores que las de la ciudad. El agua llega a la ciudad a través de un complejo de conexiones y tuberías que se denomina “Sistema Tuy” (Figuras 4 y 5), el cual se compone de los siguientes subsistemas:

- Sistema Tuy I: Se abastece del embalse Lagartijo (80 x10⁶ m³). Se trasvasa al embalse La Mariposa. Suministra agua a las partes bajas de la ciudad (3 m³/s).
- Sistema Tuy II: Se abastece del embalse Taguaza (184 x10⁶ m³). Suministra agua a las zonas del Sureste y zonas de alturas intermedias de la ciudad (7,2 m³/s).
- Sistema Tuy III (el más importante): Se abastece del embalse Camatagua (1.550 x10⁶ m³). Suministra agua al resto de la ciudad y otras poblaciones de otros estados (9 m³/s).
- Sistema Tuy IV (en construcción): Se abastecerá del embalse que se construirá sobre el Río Cuira. Suministrará 12 m³/s e, incluso, podría llegar a suministrar 21 m³/s.

El agua se envía desde los embalses, normalmente por debajo de los 400 m.s.n.m., a través de estaciones de bombeo, para llevar el agua a la ciudad, que está sobre los 900 m.s.n.m.

Tal como puede apreciarse, el suministro de agua potable a la capital de Venezuela resulta bastante complejo, además de los problemas que representan la traslocación de agua desde otras cuencas de drenaje hasta la ciudad, como se describirá posteriormente en este trabajo.

Figura 4. Sistema Tuy. Modificado de HIDROCAPITAL



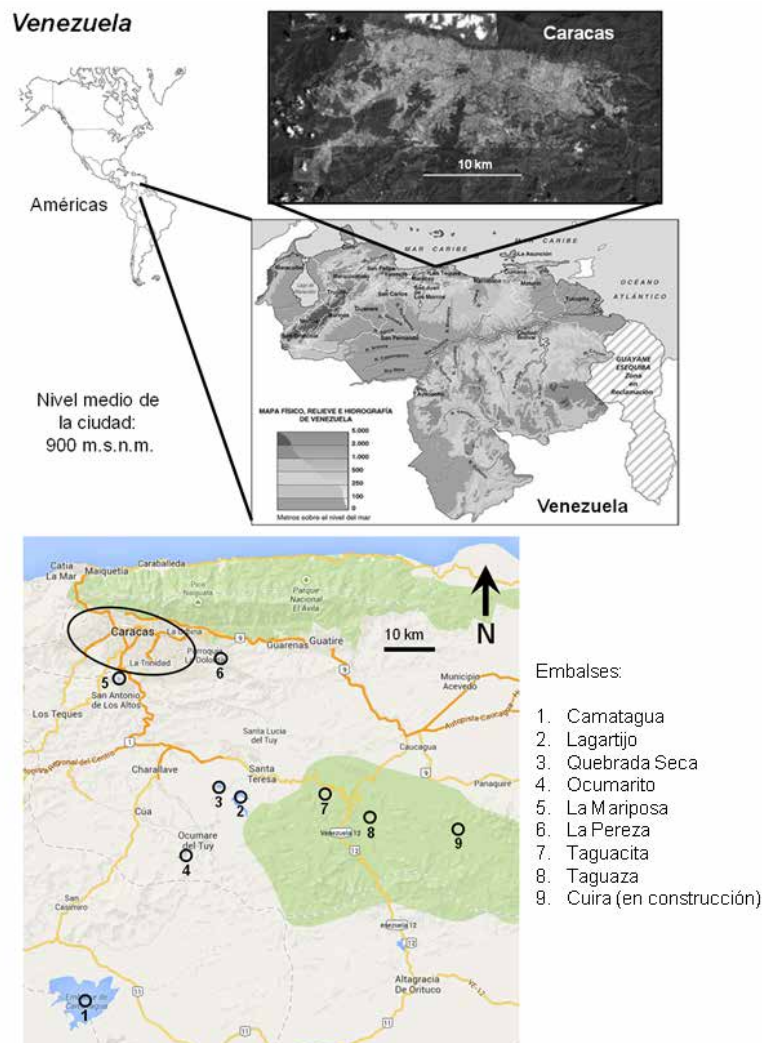
2.2 Estructura tarifaria del servicio de suministro de agua potable y saneamiento

La estructura de costos para el suministro de agua potable y saneamiento vigente en Venezuela data del año 2011, dictada conforme a la Disposición Transitoria Novena de la Ley Orgánica para la Prestación de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento y publicada en la *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela* N° 39.788 del 28 de octubre de 2011 (GORBV, 2011). En esta Providencia Administrativa se establecen la metodología, fórmulas, modelo y criterios técnicos que regulan las tarifas de los servicios de agua potable y saneamiento prestados

por las Empresas Hidrológicas Regionales filiales de la Compañía Anónima Hidrológica Venezolana, HIDROVEN, C.A. Los usos del agua son definidos de la siguiente manera:

- Comercial A: Inmuebles donde el agua es un insumo esencial y principal para realizar la actividad comercial o el servicio que se presta, como en el caso de clínicas, hoteles, pensiones, autolavados, lavanderías y/o tintorerías, viveros, peluquerías, carnicerías, pescaderías, centros comerciales, restaurantes, entre otros.

Figura 5. Ubicación relativa de la ciudad de Caracas y de los embalses que suministran agua potable



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes de Google Earth.

- Comercial B: Aquellos inmuebles donde el agua no es un insumo esencial y principal para realizar la actividad comercial o el servicio que se preste.
- Industrial A: Aquellos inmuebles donde el agua es un insumo esencial y principal para realizar la actividad industrial.
- Industrial B: Aquellos inmuebles donde el agua no es un insumo esencial y principal para realizar la actividad industrial.
- Residencial: Corresponde a todo inmueble destinado exclusivamente a vivienda o habitación familiar. El uso Residencial se divide en: Social, 1, 2, 3 y 4. Para clasificar al suscriptor dentro de las categorías de uso residencial, la empresa prestadora de los servicios públicos de agua potable y saneamiento utiliza una metodología que toma en cuenta variables claves relacionadas con la zona residencial o ubicación geográfica donde se encuentra el inmueble, costos inmobiliarios, características de las viviendas, sus servicios y equipamientos (jardín, piscina, servicios de televisión por cable, etcétera).

La Tabla 3 presenta la estructura tarifaria para los usos comercial e industrial, mientras que la Tabla 4 presenta la estructura tarifaria para los usos residenciales. Por su parte, el Precio Medio Referencial queda determinado por la ubicación geográfica en la que se encuentra el inmueble (Tabla 5). Los precios están en bolívares (Bs) y, como referencia, se coloca su valor en dólares norteamericanos (US\$) al cambio oficial.

Esta Providencia Administrativa también establece que, en aquellos sistemas o centros poblados donde, adicionalmente al proceso de recolección de aguas servidas se realice el proceso de tratamiento y disposición final de las aguas servidas, como contraprestación por este servicio se cobrará 25% de la facturación del servicio público y de recolección de las aguas servidas.

WSP (2007) ha estimado que las empresas prestadoras no facturan el servicio a 35% de la población de escasos recursos, y del 65% restante, 16% es considerado como suscriptores sociales, por lo que se cobra alrededor de 20% del valor de las tarifas. Ello guarda relación con el principio de solidaridad y reconocimiento de la deuda social presente en las políticas del sector.

Tabla 3. Estructura tarifaria para usos industriales y comerciales. PMR= Precio Medio Referencial

Usos	Cargo fijo (se calcula 1/6 de la dotación y para cada uso se establece un valor mínimo por uso)	Cargo variable (hasta la dotación)	Exceso 1 (desde la dotación hasta 1,5 veces la dotación)	Exceso 2 (desde 1,5 veces la dotación en adelante)
Industrial A	Mínimo 50 m ³ /mes (2,50 o 3,00) x PR	(2,50 o 3,00) x PR	4,00 x PR	7,00 x PR
Industrial B	Mínimo 40 m ³ /mes (2,25 o 2,50) x PR	(2,25 o 2,50) x PR	4,00 x PR	7,00 x PR
Comercial A	Mínimo 30 m ³ /mes (2,00 o 2,25) x PR	(2,00 o 2,25) x PR	4,00 x PR	7,00 x PR
Comercial B	Mínimo 20 m ³ /mes (1,50 o 2,00) x PR	(1,50 o 2,00) x PR	4,00 x PR	7,00 x PR

Fuente: *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela* (2011).

Tabla 4. Estructura tarifaria para usos residenciales. PMR= Precio Medio Referencial

Usos	Cargo fijo (1/6 de la dotación y el valor mínimo a considerar será de 15 m ³ /mes)	Cargo variable (entre 15 y 40 m ³ /mes)	Exceso 1 (entre 40 y 100 m ³ /mes)	Exceso 2 (mayor que 100 m ³ /mes)
Residencial Social	(0,50) x 0,50 x PR	(0,50) x 0,75 x PR	3,50 x PR	5,00 x PR
Residencial 1	0,75 x PR	0,75 x PR	3,50 x PR	5,00 x PR
Residencial 2	1,00 x PR	1,00 x PR	3,50 x PR	5,00 x PR
Residencial 3	1,50 x PR	1,50 x PR	3,50 x PR	5,00 x PR
Residencial 4	2,00 x PR	2,00 x PR	3,50 x PR	5,00 x PR

Fuente: *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela* (2011).

Tabla 5. Precio Medio Referencial (PMR) según su uso y empresa hidrológica

Empresas	PMR residencial (Bs/m ³ – US\$/m ³)	PMR comercial e industrial (Bs/m ³ – US\$/m ³)
HIDROANDES	1,00 – 0,091	1,90 – 0,173
HIDROCENTRO	1,55 – 0,141	1,90 – 0,173
HIDROCARIBE	1,55 – 0,141	1,90 – 0,173
HIDROCAPITAL	1,55 – 0,141	1,90 – 0,173
HIDROFALCÓN	1,55 – 0,141	1,90 – 0,173
HIDROLAGO	1,55 – 0,141	1,90 – 0,173
HIDROLLANOS	1,00 – 0,091	1,90 – 0,173
HIDROPÁEZ	1,00 – 0,091	1,90 – 0,173
HIDROSUROESTE	1,25 – 0,114	1,90 – 0,173

Fuente: *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela* (2011). Se tomó como medida el cambio oficial de Bs 11,00 por cada 1,00 US\$ (al 28/02/2014).

Las Mesas Técnicas de Agua

Participación de la comunidad en la gestión del suministro de agua potable y saneamiento

En el marco de la nueva estructura del estado venezolano establecida en la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, HIDROVEN y sus Empresas Hidrológicas Regionales impulsan la conformación de las Mesas Técnicas de Agua.

Tanto la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela como la Ley Orgánica para la Prestación de los Servicios de Agua Potable y de Saneamiento (LOPSAPS) (aprobada en el año 2001), establecen el marco jurídico y los mecanismos para transferir la gestión del servicio de agua desde las empresas hidrológicas a los municipios.

Desde 1999 se vienen conformando organizaciones comunitarias de base en el Área Urbano-Rural, denominadas Mesas Técnicas de Agua (MTA), dedicadas a mejorar la provisión, mantenimiento y operación del servicio de agua potable y saneamiento.

Estas organizaciones contribuyen a la participación ciudadana en el Sector Agua Potable y Saneamiento (LOSAPS) y se han transformado en un mecanismo fundamental para la organización de las comunidades, para la política de provisión del servicio y sobre todo para la organización de las empresas prestadoras, ya que han trascendido los objetivos iniciales, llegando ahora a participar de manera directa en la gestión de estas empresas.

La aplicación de esos principios al desarrollo de la LOSAPS ha dado lugar a cambios importantes que pueden resumirse en dos grandes procesos en marcha. Uno referido a la incorporación de la participación comunitaria en la gestión del servicio y el desarrollo de una nueva cultura del agua, y el otro a la ampliación del servicio, con mayor equidad, en el marco de una nueva visión de la empresa hidrológica pública que incluyó en cada una la creación de las Gerencias de Gestión Comunitaria.

Las MTA canalizan la participación de las comunidades para obtener, mejorar, mantener y vigilar el servicio de agua y saneamiento para sus asentamientos, así como para moldear una cultura del agua que valore y cuide este recurso.

La relación de las MTA con las empresas hidrológicas está planteada desde una visión de corresponsabilidad e identidad con el servicio, ya que se ha logrado que las comunidades participen en el diagnóstico inicial, elaboren, ejecuten los proyectos y realicen tareas contraloras. Además, como tarea adicional estas comunidades van construyendo simultáneamente una red de relaciones y valores que constituyen ciudadanía.

Desde la puesta en marcha, el programa Mesas Técnicas de Agua ha proporcionado a las comunidades la participación directa en la solución de los problemas de suministro de agua potable y de servicio de agua servida.

Con la creación del Fondo de Financiamiento de Proyectos Comunitarios, las Mesas Técnicas de Agua se convierten en experiencias comunitarias pioneras en el manejo directo de los recursos económicos requeridos para la ejecución de proyectos de agua y saneamiento diseñados también por las propias comunidades. Para inicios del año 2014, existen más de nueve mil Mesas Técnicas de Agua a nivel nacional.

Al mes de enero del año 2011, a la Mesas Técnicas de Agua se les había asignado un total de Bs 481.052.043 (US\$ 111.872.568,14, al cambio oficial de la fecha, calculado a Bs 4,30 por cada US\$) para la ejecución de 1 mil 556 Proyectos de Agua Potable y Saneamiento, de los cuales 1 mil 97 estaban culminados y 459 estaban en ejecución, beneficiando a una población de 1 millón 526 mil 339 habitantes con los proyectos culminados, estimándose un total de 2 millones 973 mil 935 habitantes a beneficiar con la totalidad de los proyectos.

Los Consejos Comunitarios de Agua conformados por las Mesas Técnicas de sectores específicos son instancias organizadas por regiones y por ciclos de suministro en todo el territorio nacional.

El programa de Mesas Técnicas de Agua representa de esta forma un esfuerzo integral por llevar calidad de vida a la población y por dar poder a las comunidades, las cuales reconocen el trabajo realizado y se sienten satisfechas de los logros alcanzados, pues son ahora partícipes de la solución de sus problemas.

Esta estrategia participativa ha contribuido decisivamente con el gran objetivo de ampliar el acceso de la población al agua potable y al saneamiento, de manera que ya en el año 2005 Venezuela había cumplido con las Metas del Milenio, previstas para el año 2010. Además, las MTA han incidido de manera positiva en fortalecer los tejidos comunitarios, construir una ciudadanía social, construir una nueva institucionalidad como una nueva red de relaciones comunidad-Estado y construir una nueva cultura del agua.

3. Tratamiento de agua en ciudades

El agua, para ser distribuida y consumida en el país, debe cumplir con la Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable, establecidas por el Ministerio de Sanidad y Asistencia Social (hoy Ministerio del Poder Popular para la Salud) en la *Gaceta Oficial de la República de Venezuela* N° 36.395 del 13 de febrero 1998, como órgano rector para la vigilancia sanitaria del agua, en las que se establecen los valores máximos para los parámetros regulados que debe cumplir el agua para que sea considerada potable. Durante el proceso de traslado del agua a las redes de distribución, por parte de las empresas hidrológicas, se tiene como primer paso la aplicación de estas normas, que dentro de los parámetros de la potabilidad plantean: la no contención de olor, color, ni sabor, además de determinar la

presencia de plomo (valor máximo aceptable de 0,01 mg/l), hierro (valor máximo aceptable de 0,30 mg/l) y aluminio (valor máximo aceptable de 0,20 mg/l). A la salida de las distintas plantas se le aplica cloro para desinfectar y eliminar las bacterias, así como para asegurar una concentración residual de cloro, que asegure la calidad microbiológica del agua en la red de distribución de acuerdo a las normas.

Con la aplicación de agentes coagulantes en la mezcla rápida o en la etapa de coagulación, como el sulfato de aluminio y polímeros como el policloruro de aluminio, entre otros, se inicia el tratamiento del agua que permite remover los sólidos suspendidos, disueltos, sedimentables, que aportan color y turbiedad al agua.

Posteriormente, el floculo formado pasa a los sedimentadores, donde precipita y sedimenta. Permanentemente, se analizan los parámetros de control a ser removidos en el proceso de potabilización a la entrada de las plantas de tratamiento, como son turbiedad, color aparente y verdadero, pH, dureza y alcalinidad total, metales, coliformes totales y fecales, entre los principales parámetros de control.

El proceso de potabilización finaliza con la entrada del agua a los filtros donde se retienen las partículas más pequeñas que no pudieron ser retenidas durante la sedimentación, así como pequeños organismos. Estos filtros contienen lechos filtrantes constituidos por gravas y arenas de diferentes granulometrías, así como una capa de antracita.

En la etapa final del tratamiento se aplica cloro (generalmente en forma de gas) para garantizar que el agua distribuida en la red contenga una concentración residual de este elemento hasta su llegada a los hogares, de acuerdo a lo establecido en las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable, entre 0,3 y 0,5 mg/litro, debido al efecto prolongado de este elemento para eliminar microorganismos.

De acuerdo con González Landazábal (2001), en Venezuela funcionan 119 plantas potabilizadoras, con una capacidad instalada de 132.390 l/s. Los tipos de plantas existentes son básicamente: convencional, con unidades de tipo tradicional; convencional con tratamiento completo, que incluye floculación, sedimentación, filtración y desinfección; convencional con tratamiento parcial y no convencional con tratamiento parcial de tipos modulares, acelerados, compactos y combinados. El cumplimiento de la normativa vigente para la calidad bacteriológica y la calidad organoléptica se sitúa en 85% y 83% respectivamente para agua sólo clorada, y en 91% y 85% para agua con tratamiento convencional.

En lo que respecta a la cobertura, disposición y tratamiento de las aguas residuales, el último de ellos aún constituye uno de los grandes problemas ambientales que confronta Venezuela, aunque se ha avanzado considerablemente en ello (Páez-Pumar, 2010).

La depuración de aguas residuales es insuficiente en términos porcentuales (González Landazábal, 2001). Los tipos de tratamiento generalmente utilizados son lagunas de estabilización u oxidación y aireación extendida en el caso de poblaciones urbanas, pozos séptico-filtro y séptico-campo de ab-

sorción en algunas poblaciones rurales. En general, la mayor parte de los efluentes no tratados contaminan las costas del litoral, dada la cercanía de los grandes centros poblados al mar o debido a que son vertidos directamente en ríos que desembocan en el mismo. En las regiones de mayor desarrollo turístico, como la isla de Margarita (estado de Nueva Esparta), algunas zonas de los estados Falcón (ciudad de Coro y península de Paraguaná) y Anzoátegui (eje urbano Barcelona-Puerto la Cruz-Guanta) y más recientemente la ciudad de Maracaibo, están implementando sistemas de tratamiento para las aguas servidas (González Landazábal, 2001; Rosillo, 2001). También están siendo incorporados sistemas de tratamiento de aguas residuales en las ciudades de Cumaná y Carúpano, ubicadas en la costa del estado Sucre. En el caso de Caracas, la de mayor concentración urbana, no existe ningún tipo de tratamiento para efluentes, los cuales son vertidos en la cuenca del Río Tuy, y a través de éste al Mar Caribe.

Como información adicional, la ciudad de Caracas cuenta con la planta de tratamiento de aguas residuales de tipo experimental, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela (Planta Experimental de Tratamiento de Aguas -PETA) y con la de una de las empresas de distribución de alimentos (Grupo POLAR).

También se cuenta con las plantas ubicadas en la región centro-norte de Venezuela, la cual es el corazón industrial del país. En esta región, empresas privadas cuentan generalmente con sus plantas de tratamiento de aguas residuales con el objeto de cumplir con los valores establecidos para la descarga de los parámetros regulados en el Decreto 883, relativo a las Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos (*Gaceta Oficial de la República de Venezuela* N° 5.021 extraordinario del 18 de diciembre de 1995). Las plantas de tratamiento de Los Guayos y La Mariposa ubicadas en el estado Carabobo, tratan 2 mil l/s y 2 mil 400 l/s respectivamente, y la planta de tratamiento de Taiguaguay, ubicada en el estado Aragua, 3 mil l/s (MINAMB, 2006).

Según Páez-Pumar (2010), en Venezuela la cobertura del servicio de cloacas es de 81%, pero la situación del tratamiento de efluentes es mucho menor, producto de la escasa infraestructura existente. La falta de estos servicios incide en el incremento de enfermedades de origen hídrico, reapareciendo algu-

nas de ellas en zonas donde habían sido erradicadas. Actualmente, los municipios están en un proceso de revisión de los modelos de gestión con la finalidad de dar cabida a las nuevas formas de participación comunitaria (consejos comunales, mesas técnicas) y mejorar la eficiencia de los servicios (WSP, 2007).

Según WSP (2007), a inicios del año 2007, la cobertura en cuanto al tratamiento de aguas residuales apenas llegaba a 20,2% y, a través de una inversión de US\$ 300 millones, se esperaba alcanzar 27% de cobertura nacional a finales de ese año, ampliando la cobertura a 40% en 2010 y a 60% en 2015, para lo cual se requería una inversión de US\$ 3 mil 621 millones.

De manera adicional, a las enfermedades de origen hídrico y los malos olores, los efluentes sin tratamiento provenientes de fábricas, granjas porcinas y aguas servidas de centros urbanos, contaminan los ríos, costas marinas, lagos, embalses y otros ecosistemas acuáticos, generándose posiblemente cambios en la concentración de oxígeno disuelto, nitrógeno, fósforo, DBO y DQO, entre otros parámetros, y en los que pueden acumularse metales pesados como manganeso, zinc, hierro y cobre, así como generar otras condiciones ambientales negativas de altas temperaturas, cambios de salinidad, disminución de las concentraciones de oxígeno disuelto, entre otras condiciones.

Entre los proyectos de inversión más importantes para saneamiento, destaca el Proyecto de Saneamiento del Río Guaire, el cual atraviesa la ciudad de Caracas en sentido Oeste-Este (MINAMB, 2012b). Tiene 72 km de longitud y es el río principal de la ciudad, ocupando una cuenca de 655 km² (Pérez Lecuna, 2005). Así mismo, representa el principal colector de aguas servidas de Caracas. El Río Guaire es uno de los principales tributarios del Río Tuy, en cuya cuenca está la mayoría de los embalses que proveen agua potable a la ciudad. El plan de saneamiento para este río se resume a continuación:

- Primera Fase (2005-2006): Limpieza y dragado del Río Guaire y de sus tributarios. Esta fase contempla trabajos de ingeniería hidráulica y saneamiento, con la finalidad de aumentar hasta 75% la recolección de las aguas servidas en los colectores marginales ya existentes. Se contempló la construcción de 1 mil 500 hectáreas de colectores, rehabilitación de colectores marginales de varios de los tributarios principales del Río Guaire: San Pedro, Macarao, Caricua, Mame-

ra, Antímano, Carapita, La Vega, Bella Vista, La Yaguara, San Martín, El Guarataro, Caroata, Catusche y Arauco, y la construcción de una planta de tratamiento. El costo aproximado es de US\$ 75 millones. Esta fase ya fue concluida.

- Segunda fase (2007-2014): Continuación de las obras de ingeniería hidráulica y de saneamiento, necesarias para lograr interceptar hasta 95% de las aguas servidas en los colectores marginales del río, así como también el saneamiento de 1 mil 500 hectáreas de colectores en áreas urbanas. Se rehabilitarán los colectores marginales en los siguientes tributarios: El Valle, Chacaíto, Baruta, Tocomá, Agua de Maíz y Quebrada Grande de El Hatillo. Esta fase concluirá con la canalización del Río Guaire y la construcción de colectores marginales. Su costo aproximado es de US\$ 450 millones. La participación comunitaria tiene un rol fundamental en este plan. Se contempla el uso recreacional de las márgenes del río una vez que el plan sea concluido. Esta segunda fase aún no se ha concluido.

Otro proyecto de saneamiento importante lo constituye el Proyecto Integral de Saneamiento y Control de Nivel de la Cuenca del Lago de Valencia, el cual consiste en la construcción de colectores en los estados Aragua y Carabobo, con la finalidad de conducir las aguas servidas a las plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas en el estado Carabobo (La Mariposa y Los Guayos) y el estado Aragua (Taiguai-guay), y así poder ser tratadas para contribuir con el saneamiento de la cuenca del Lago de Valencia (MINAMB, 2006).

Además de la construcción de colectores, se encuentra en ejecución la ampliación de la planta de tratamiento de aguas servidas La Mariposa, con la finalidad de incrementar el caudal de entrada a la planta a 5 mil 200 l/s, motivado a requerimientos de aumento en la población del estado Carabobo.

El Proyecto contempla también la construcción de sistemas de tratamiento de agua servidas en La Victoria y Tocarón (estado Aragua), así como los sistemas de tratamiento de aguas servidas en Güigüe, Mariara y San Joaquín (estado Carabobo), además de la construcción de un dique para la protección de las urbanizaciones La Punta y Mata Redonda en el estado Aragua, contra inundaciones por el incremento del nivel del Lago de Valencia.

Dentro de este proyecto se encuentra también el Programa de Educación Ambiental, con la finalidad de formar y organizar a las comunidades en torno a sus derechos sociales, económicos, ambientales, civiles, políticos, culturales y educativos desarrollando sus capacidades y potencialidades para promover y consolidar el desarrollo endógeno y sustentable de la cuenca del Lago de Valencia.

En el occidente del país también se desarrolla el Proyecto de Saneamiento del Lago de Maracaibo, que se basa en sanear las aguas servidas que llegan al lago mediante plantas de tratamiento, colectores principales, plantas de aguas servidas sobre diversos municipios del estado y control de torrentes y dragados en la cuenca del lago (GeoVenezuela, 2010). Al respecto, durante el año 2007 se inició la construcción de un acueducto de 130,2 km, desde el embalse Tres Ríos hasta el municipio Maracaibo, para el suministro de agua potable en los municipios Maracaibo, San Francisco, Jesús Enrique Lozada, La Cañada de Urdaneta y Mara del estado Zulia. De acuerdo con información oficial del Ministerio del Ambiente, la ejecución de las obras culminó durante septiembre del año 2007.

4. Agua y salud en las ciudades

Se sabe que las aguas residuales albergan microorganismos que causan enfermedades (patógenos), incluyendo virus, protozoarios y bacterias (Reynolds, 2002). Los organismos patógenos pueden originarse en los individuos infectados o en animales domésticos o salvajes, los cuales pueden o no presentar señales de enfermedad. La diarrea y la gastroenteritis se encuentran entre las tres principales causas de muerte en el mundo y en la región latinoamericana. El agua no segura para beber y la contaminación a través de la disposición inadecuada de aguas negras, son responsables por la gran mayoría de estas muertes.

Desde el punto de vista de la salud pública, una inadecuada provisión de agua potable y de servicios de recolección de efluentes, aunados a condiciones de pobreza, involucran la aparición de enfermedades de transmisión hídrica, tales como amibiasis, diarreas (principalmente en niños), giardiasis, helmintiasis y hepatitis aguda Tipo A (Martínez, 2013).

De acuerdo a Martínez (2013), en el Distrito Capital se presentaron más de 30 mil casos de enfermedades de origen hídrico durante el año 2012, lo que representó un índice de 15,5 casos por cada mil habitantes. De este índice, 42,64% de los casos se presentaron en los estratos más pobres de la población. Pero al discriminarse por parroquias de acuerdo a la mayor incidencia de casos, puede observarse que: 1) En las parroquias de la ciudad relativamente más sanas, donde se registraron 12 casos o menos de enfermedades de transmisión hídrica por cada mil habitantes, predominan redes formales de acueducto y cloacas, y el porcentaje promedio de población pobre es relativamente más bajo (36,48%). 2) En las parroquias donde el número de casos se ubica entre más de 12 y hasta 30 por cada mil habitantes, la informalidad urbana está presente en forma significativa, las redes en algunos de sus sectores son bastante precarias y el porcentaje promedio de población pobre es de 43,11%. 3) Por último, donde la concentración de casos supera los 30 por cada mil habitantes, las condiciones de hacinamiento de viviendas, de informalidad y de deficiencias de los servicios de agua y saneamiento son relevantes y el porcentaje promedio de población pobre es alto (48,95%).

A estos resultados habría que añadir que el almacenamiento inadecuado de agua en recipientes abiertos para paliar los racionamientos facilita la propagación de enfermedades como el dengue y la malaria, y pueden tener una distribución geográfica asociada. También suelen estar presentes algunas estructuras, como por ejemplo neumáticos viejos de vehículos, que pueden acumular agua, proveyendo así hábitats adecuados para los vectores de algunas enfermedades.

Según el Ministerio del Poder Popular para la Salud (MPPS, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013), en Venezuela se han presentado numerosos casos de enfermedades asociadas a los recursos hídricos. Algunas cifras se presentan a continuación:

- **Diarreas:** La mayoría de las enfermedades infecciosas transmitidas por el agua son enfermedades diarreicas y están causadas por microorganismos (bacterias, virus, huevos de vermes o protozoarios), eliminados al medio con las excretas de las personas o de los animales. Los agentes causales de las enfermedades pueden encontrarse en agua no tratada contaminada con excretas o persistir por falta de disponibi-

lidad de agua. El grupo más vulnerable de la población corresponde a los niños menores de 5 años, y los casos documentados superan los cientos de miles por año en Venezuela (Figura 6).

- Amibiasis: Es una enfermedad parasitaria producida por las amebas *Entamoeba histolytica*, *E. dispar* y *E. moshkovskii*. Su prevalencia es alta en zonas con saneamiento ambiental deficiente. En Venezuela se ha registrado un descenso del número de casos desde el año 2008 hasta el presente, pero éstos aún son elevados (Figura 7). Al igual que las diarreas, el grupo más vulnerable de la población corresponde a los niños menores de 5 años.
- Malaria (o paludismo): Existen cuatro especies de parásitos (*Plasmodium vivax*, *Plasmodium ovale*, *Plasmodium falciparum* y *Plasmodium malariae*) que pueden infectar a los humanos y causar la enfermedad. Sus vectores son varias especies del mosquito Anopheles, cuyas fases larvarias transcurren en el agua. En Venezuela se registran anualmente decenas de miles de casos, con un notorio aumento en el año 2013 (Figura 8a); su incidencia fue alta durante casi todos los meses de ese año (Figura 8b); el mayor número de casos se registra normalmente en la región Sur del país, la de mayor disponibilidad de agua.

Delgado Petrocelli y col. (2011) encontraron también una alta incidencia de la enfermedad en la región Nor-Oriental de Venezuela, específicamente en el estado Sucre. Estos investigadores encontraron un corredor epidemiológico activo de la malaria en esta región del país, alineado a través de las vías de comunicación, el cual está asociado con altas concentraciones humanas próximas a los hábitats de los estadios preadultos del vector, bajas altitudes y bajas pendientes del terreno y cercanía de mangles y bosques, además de su relación con el régimen de precipitaciones (Rodríguez y col., 2013).

- Dengue: Es una enfermedad ocasionada por virus, del cual sus vectores son los mosquitos *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*. En los últimos años la transmisión ha aumentado de manera predominante en zonas urbanas y semiurbanas y se ha convertido en un importante problema de salud pública. Se ha estimado que en Venezuela se produce más de 70% de todos los casos de América. En Venezuela, el dengue se ha cons-

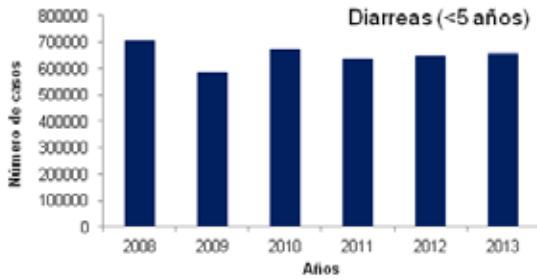
tituido en un serio problema de salud pública a nivel nacional. Según Barrera y col. (2000) en nuestro país el control del vector *Aedes aegypti* se hace difícil no sólo por la limitación en los recursos, sino también por la gran extensión y heterogeneidad de las zonas urbanas y por la falta de recursos sanitarios como los de recolección de desechos sólidos, suministro de agua potable y atención médica. Anualmente se cuentan decenas de miles de casos (Figura 9a) y, normalmente, su mayor incidencia ocurre durante las últimas semanas del año (Figura 9b). Las figuras representan la totalidad de los casos de dengue reportados (clásico + hemorrágico). En la actualidad, la mayor incidencia de casos de dengue se presenta en gran parte del arco andino-costero, el cual concentra la mayor proporción de población urbana del país (MPPS, 2013).

En el Distrito Capital, que concentra gran parte de la población urbana del país, la prevalencia de dengue es bastante elevada (Figura 10a), especialmente en el año 2010, cuando el número de casos reportados fue mayor a 10 mil. En el Distrito Capital también se registró una mayor incidencia de casos de dengue en las últimas semanas del año 2013 (Figura 10b).

De acuerdo con Delgado Petrocelli y col. (2013), el dengue en Venezuela ha tenido un gran repunte, sobre todo en la zona central del país, en el estado Aragua, ya que su capital Maracay ha sido categorizada a principios de la década de 2000 como hiperendémica. Asimismo, la región occidental, en particular el estado Mérida (región andina venezolana), no ha escapado de este impacto (Marichal, 2011). Hay una relación del dengue con los patrones culturales, tanto de movilidad como de las prácticas del almacenamiento de agua y éste, a su vez, está vinculado a la escasez del recurso hídrico, provocado por la sequía producto de la estacionalidad o por la alteración del patrón de variabilidad climática por algún fenómeno meteorológico como El Niño y Oscilación Sur (ENSO). También se ha registrado un corredor epidemiológico asociado al eje vial transandino

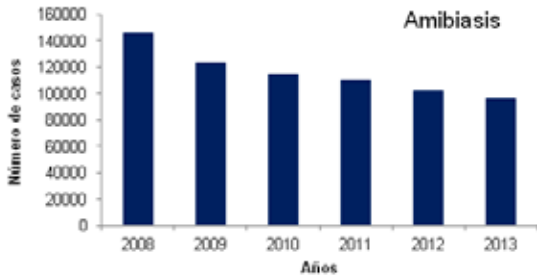
Tal como se ha podido apreciar, se requiere de una mayor atención en la disposición y tratamiento de las aguas residuales en las zonas urbanas y, en general, en el país. Las enfermedades hídricas normalmente tienen una mayor incidencia sobre los estratos más pobres de la población. Varios auto-

Figura 6. Número de casos de diarreas en niños menores de 5 años (2008-2013)



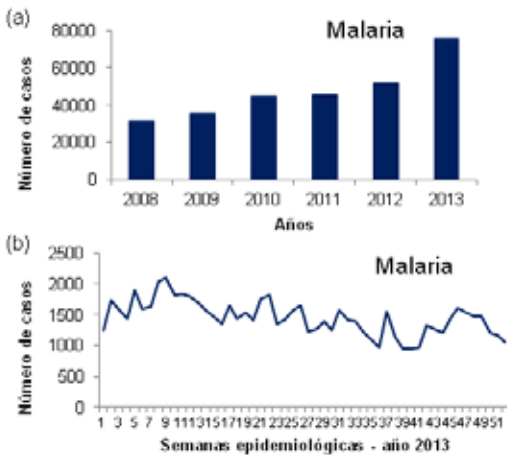
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de MPPS (2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013).

Figura 7. Número de casos de amibiasis (2008-2013)



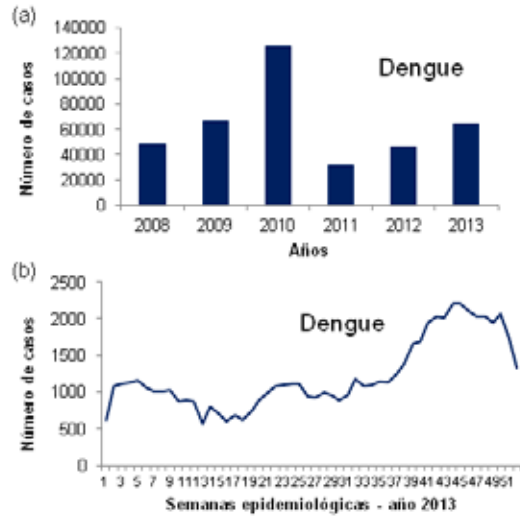
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de MPPS (2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013).

Figura 8. Número de casos de malaria: a) Período 2008-2013, b) año 2013



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de MPPS (2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013).

Figura 9. Número de casos de dengue: a) Período 2008-2013, b) año 2013



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de MPPS (2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013).

Figura 10. Número de casos de dengue en el Distrito Capital: a) Período 2008-2013, b) año 2013



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de MPPS (2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013).

res (Faría, 2006; Pineda, 2006; Martínez, 2013, entre otros) exponen que la participación de las comunidades organizadas (por ejemplo, las Mesas Técnicas del Agua) y la educación a la población, son elementos claves para mitigar la incidencia de estas enfermedades, además de la necesaria inversión del Estado en saneamiento de ríos y quebradas.

4.1 Otra dimensión de “Agua y Salud”: Mediciones de salud ambiental en viviendas y edificaciones de uso público y su relación con el agua

La Organización Mundial de la Salud indica que la salud ambiental está relacionada con todos los factores físicos, químicos y biológicos externos de una persona (OMS, 2013). La consideración de los ambientes donde viven los humanos pasa desde las comunidades rurales hasta las ciudades y sus periferias, desde los suburbios constituidos por casas unifamiliares hasta los barrios, que rodean muchas ciudades venezolanas. Bien sean aldeas, pueblos, ciudades o periferias urbanas, en cada una de ellas en última instancia está presente una vivienda y, quizás, en su interior varios hogares. Por eso se ha pretendido esta aproximación a la salud ambiental desde el espacio de la vivienda y los hogares, haciendo comentarios sobre indicadores e índices destinados a medir la interacción agua-salud ambiental.

La medición de la salud ambiental en viviendas y hogares debe ser la atinente a los indicadores de saneamiento básico ambiental referidos a abastecimiento de agua potable, disposición de excretas, higiene doméstica, manejo domiciliario y recolección de basura, control de plagas (insectos y roedores) en la vivienda, a los cuales se suman las propias condiciones físicas de la morada (techo, piso, paredes y frisos).

4.2 Información general e indicadores e índices sobre salud ambiental en las viviendas disponibles en Venezuela

Los censos constituyen el inventario nacional de la vivienda en Venezuela. De los datos a nivel de vivienda, tres de ellos están vinculados con la salud ambiental y el agua. Éstos son:

- a. Suministro de agua potable: Se procura conocer el modo como se surte de agua la vivienda. La primera opción es acueducto o tubería, lo que co-

rresponde a un sistema de suministro público de agua potable, continuo, con la calidad requerida por las normas sanitarias, en cantidad suficiente de acuerdo con una dotación preestablecida y con la presión adecuada para el correcto funcionamiento de la grifería y piezas sanitarias. La segunda opción es a través de camiones cisternas que corresponde a un suministro discontinuo, que requiere almacenamiento en el hogar, donde la potabilidad del agua recibida conviene asegurarla por un sistema casero de desinfección. Por ello, es importante discriminar la calidad de prestación del servicio, más allá de la conexión a acueducto. Una primera aproximación comprende el modo de suministro; la Tabla 6 muestra la información al respecto. Allí se puede apreciar la elevada proporción de incorporación a los sistemas de acueducto como medio de recibir la dotación de agua potable. Esto es un hecho favorable y significativo, pero como se indicó hay que verificar la continuidad en la prestación del servicio. Dado que Venezuela es un país fundamentalmente urbano, los cuadros que ilustran el análisis se refieren a 57 parroquias de algunas de las ciudades más pobladas del país: Caracas, Barcelona, Puerto Ordaz, Valencia y Maracaibo. Adicionalmente, hay que señalar que Venezuela contó con un exitoso programa de construcción de acueductos rurales, por lo que la cifra de cobertura de servicio de acueductos en este espacio territorial también es elevada.

- b. Frecuencia de suministro: El Censo 2011, atento a la importancia de este dato para catalogar la calidad del servicio de abastecimiento de agua, interrogó sobre la frecuencia con la que se suministra el agua a las viviendas: todos los días, cada dos o tres días, una vez por semana o una vez cada quince días. Los resultados para las cinco ciudades que se comparan se muestran en la Tabla 7. Se aprecia cómo, a pesar de la elevada tasa de interconexión a los acueductos, la calidad del servicio en cuanto a su continuidad se reduce sensiblemente en algunas ciudades como Maracaibo, donde apenas 37,3% de las viviendas cuenta con abastecimiento permanente. En general, la proporción de abastecimiento permanente se ubica alrededor de 79%, salvo la anómala situación de Maracaibo. En todo caso, la población que recibe el agua con diferentes frecuencias desde

interdiaria a quincenal representan alrededor de 20% de las viviendas. Las interrupciones en el suministro pueden dar lugar a fallas en la higiene personal, inadecuado manejo de excretas, incorrecta manipulación de alimentos y de útiles de cocina, cada una de las cuales puede ocasionar episodios de afectación a la salud. Estos temas aún requieren investigación.

- c. Tratamiento del agua a nivel de hogares. Dado que el agua se recibe de manera discontinua en los hogares y en general es objeto de almacenamiento previo a su uso, el Censo 2011 incluyó una pregunta que se refiere al tratamiento del agua en los hogares, previo a su consumo. Las opciones comprenden filtrar, hervir, filtrar y hervir, tratar con cloro, usar agua embotellada para el consumo como bebida o no tratar. La Tabla 8 permite apreciar el número de usuarios por tipo de tratamiento previo. Los datos hacen posible tener una medida de la percepción de confianza en la calidad del agua. Valencia muestra la mayor proporción de consumo del agua en botellones, mientras que en Caracas y Maracaibo un tercio de los hogares hierve el agua antes de consumirla. El filtrado del agua se ubica en 20% para el conjunto de las ciudades, del mismo modo que el consumo directo del grifo sin ningún tipo de tratamiento adicional. En Caracas y Valencia el consumo directo baja a 15 y 12% respectivamente. Estas cifras muestra la conciencia entre salud y desinfección del agua que posee la población, mientras que las variaciones entre ciudades brindan una idea de la percepción sobre la condición de abastecimiento.

- d. Modo de disposición de excretas: Para completar la información sobre las condiciones de la vivienda relacionadas con la salud ambiental y el agua, el Censo de Población y Vivienda 2011 procura información sobre la disposición de excretas, inquiriendo sobre las opciones que se indican en la Tabla 9. La opción “inodoro sin conexión a cloaca o pozo séptico” es preocupante desde el punto de salud ambiental, porque supone la descarga a un curso natural o artificial o a cielo abierto, donde se puede producir acumulación de material séptico, emisor de olores fétidos y miasmas portadoras de parásitos y microbios causantes de enfermedades, en el caso de un eventual contacto con humanos y especies domésticas. Las cifras para las ciudades seleccionadas muestran la elevada conexión de los excusados a cloacas o pozos sépticos, lo cual induce a pensar en dos aspectos fundamentales para asegurar la salubridad urbana: 1) el control de la calidad del agua potable por el uso agua debajo de los puntos de descarga, lo cual a su vez se relaciona con el diseño de los sistemas de tratamiento de potabilización de las aguas, y 2) la necesidad de tratar las aguas servidas, colectadas por los sistemas cloacales, para garantizar la calidad del agua en las cuencas y sus usos aguas abajo del punto de descarga. A pesar de la escasa población rural en Venezuela y de la sistemática ejecución de programas de saneamiento básico ambiental en las áreas rurales, es posible que la disposición a cielo abierto aún pudiera suceder en comunidades muy aisladas, dando allí lugar a trasmisión de enfermedades parasitarias.

Tabla 6. Ciudades de Venezuela: Caracas, Barcelona, Puerto Ordaz, Valencia, Maracaibo.

Población abastecida por acueducto y por camiones cisternas

Ciudades, municipios	Población del Municipio	Abastecimiento por acueducto		Abastecimiento mediante camiones cisterna	
		Población	%	Población	%
Caracas, Municipio Libertador	1.828.956	1.821.211	99,57	7.745	0,43
Barcelona, Municipio Simón Bolívar	371.702	357.936	96,29	13.766	3,71
Puerto Ordaz, Municipio Caroní	656.386	639.864	97,48	16.522	2,52
Valencia, Municipio Valencia	754.329	739.563	98,04	14.766	1,96
Maracaibo, Municipio Maracaibo	1.385.463	1.336.550	96,47	48.913	3,53
Total ciudades seleccionadas	4.996.836	4.895.124	97,96	101.712	2,04

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, XIV Censo Nacional de Población y Vivienda, 2011 (INE, 2013).

Tabla 7. Frecuencia del suministro de agua a las viviendas

Ciudades, municipios	Viviendas	Frecuencia continua (todos los días)		Frecuencia interdiaria (cada dos o tres días)		Frecuencia semanal		Frecuencia quincenal	
		Viviendas	%	Viviendas	%	Viviendas	%	Viviendas	%
Caracas, Municipio Libertador	521.326	384.512	73,8	67.178	12,9	38.151	7,3	31.485	6,0
Barcelona, Municipio Simón Bolívar	93.179	72.328	77,6	16.603	17,8	2.741	2,9	1.507	1,6
Puerto Ordaz, Municipio Caroní	165.424	138.408	83,7	19.344	11,7	5.601	3,4	2.071	1,3
Valencia, Municipio Valencia	202.105	167.283	82,8	31.001	15,3	2.668	1,3	1.153	0,6
Maracaibo, Municipio Maracaibo	329.122	122.606	37,3	195.864	59,5	7.812	2,4	2.840	0,9
Total ciudades seleccionadas	1.311.156	885.137	67,5	329.990	25,2	56.973	4,3	39.056	3,0

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, XIV Censo Nacional de Población y Vivienda, 2011 (INE, 2013).

Tabla 8. Tratamiento del agua en hogares

Caracas, Municipio Libertador			Barcelona, Municipio Simón Bolívar		
Agua utilizada para beber	Casos	%	Agua utilizada para beber	Casos	%
Hervida	168.964	31,0	Hervida	9.467	9,5
Filtrada	151.515	27,8	Filtrada	34.995	35,1
Filtrada y hervida	46.375	8,5	Filtrada y hervida	3.887	3,9
Tratada con cloro	13.004	2,4	Tratada con cloro	6.403	6,4
Comprada en botellones	85.937	15,7	Comprada en botellones	15.188	15,2
Sin tratamiento	79.996	14,7	Sin tratamiento	29.791	29,9
Total	545.791	100,0	Total	99.731	100,0

Puerto Ordaz, Municipio Caroní			Valencia, Municipio Valencia		
Agua utilizada para beber	Casos	%	Agua utilizada para beber	Casos	%
Hervida	10.114	5,8	Hervida	11.043	4,8
Filtrada	37.267	21,5	Filtrada	25.951	11,4
Filtrada y hervida	5.042	2,9	Filtrada y hervida	5.766	2,5
Tratada con cloro	8.139	4,7	Tratada con cloro	3.452	1,5
Comprada en botellones	56.868	32,8	Comprada en botellones	155.660	68,2
Sin tratamiento	56.038	32,3	Sin tratamiento	26.472	11,6
Total	173.468	100,0	Total	228.344	100,0

Maracaibo, Municipio Maracaibo			Total Ciudades Seleccionadas		
Agua utilizada para beber	Casos	%	Agua utilizada para beber	Casos	%
Hervida	141.010	40,6	Hervida	340.598	24,4
Filtrada	49.282	14,2	Filtrada	299.010	21,4
Filtrada y hervida	28.890	8,3	Filtrada y hervida	89.960	6,5
Tratada con cloro	5.269	1,5	Tratada con cloro	36.267	2,6
Comprada en botellones	50.611	14,6	Comprada en botellones	364.264	26,1
Sin tratamiento	71.907	20,7	Sin tratamiento	264.204	18,9
Total	346.969	100,0	Total	1.394.303	100,0

Fuente: INE, 2013.

e. Uso comunitario de duchas. A nivel de hogares, el Censo de Población y Vivienda 2011 formula una pregunta atinente al tema de la salud ambiental y es la relativa al uso comunitario de duchas, lo que se relaciona con la mayor posibilidad de enfermedades dérmicas, de control de mohos causantes de alergias y enfermedades del tracto respiratorio. En general, el problema debido al uso comunitario de duchas en hogares, tiene que ver con la responsabilidad por el aseo y desinfección del cuarto de ducha. La posibilidad de contraer enfermedades es similar en un cuarto individual o uno comunitario incorrectamente aseado. La proporción de hogares sin cuarto de baño con ducha se mantiene alrededor de 5%, salvo en Barcelona, donde la razón sube a 16,2%

(Tabla 10). La circunstancia de vivir en un hogar sin cuarto de baño con duchas se asocia con la necesidad de compartir y asumir corresponsablemente el aseo de la instalación. La proporción de dos cuartos de baño con ducha es significativamente mayor en las grandes ciudades diferentes de Caracas. A su vez, Maracaibo –tal vez por la influencia climática (elevadas temperaturas)– presenta la mayor proporción de tres o más cuartos de baño con ducha. La información referida sobre los extremos indicados induce a pensar en la conveniencia de correlacionar enfermedades dérmicas con uso por varios hogares de un mismo cuarto de baño y constatar si el mayor número de cuartos con ducha se asocia con mayor consumo.

Tabla 9. Servicios de disposición de excretas

Ciudades, municipios	Viviendas	Poceta conectada a cloacas		Poceta conectada a pozo séptico		Poceta sin conexión a cloaca o a pozo		Excusado de hoyo o letrina		No tiene poceta o excusado	
		Viviendas	%	Viviendas	%	Viviendas	%	Viviendas	%	Viviendas	%
Caracas, Municipio Libertador	530.694	520.359	98,1	7.745	1,5	1.109	0,2	200	0,0	1.281	0,2
Barcelona, Municipio Simón Bolívar	95.625	64.372	67,3	26.771	28,0	1.055	1,1	829	0,9	2.598	2,7
Puerto Ordaz, Municipio Caroní	168.746	129.733	76,9	35.606	21,1	1.228	0,7	566	0,3	1.613	1,0
Valencia, Municipio Valencia	218.166	198.293	90,9	15.901	7,3	944	0,4	530	0,2	2.498	1,1
Maracaibo, Municipio Maracaibo	335.352	262.967	78,4	57.703	17,2	2.352	0,7	6.596	2,0	5.734	1,7
Total ciudades seleccionadas	1.348.583	1.175.724	87,2	143.726	10,7	6.688	0,5	8.721	0,6	13.724	1,0

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, XIV Censo Nacional de Población y Vivienda, 2011 (INE, 2013).

Tabla 10. Número de cuartos con ducha por hogares

Ciudades, municipios	Hogares	Cero cuartos de baño con ducha		Un cuarto de baño con ducha		Dos cuartos de baño con ducha		Tres o más cuartos de baño con ducha	
		Hogares	%	Hogares	%	Hogares	%	Hogares	%
Caracas, Municipio Libertador	545.791	16.257	3,0	431.990	79,1	84.611	15,5	12.933	2,4
Barcelona, Municipio Simón Bolívar	99.731	16.151	16,2	59.938	60,1	21.124	21,2	2.518	2,5
Puerto Ordaz, Municipio Caroní	173.468	8.299	4,8	121.562	70,1	36.231	20,9	7.376	4,2
Valencia, Municipio Valencia	228.344	8.131	3,6	158.885	69,6	50.477	22,1	10.851	4,7
Maracaibo, Municipio Maracaibo	346.969	23.946	6,9	211.670	61,0	86.746	25,0	24.607	7,1
Total ciudades seleccionadas	1.394.303	72.784	5,2	984.045	70,6	279.189	20,0	58.286	4,2

Fuentes: Instituto Nacional de Estadística, XIV Censo Nacional de Población y Vivienda, 2011 (INE, 2013).

4.3 Información en relación con “Pobreza por Necesidades Básicas Insatisfechas” (INE, 2013)

La información sobre Necesidades Básicas Insatisfechas ofrece tres datos importantes para conocer el estado de salud ambiental de las viviendas y hogares en Venezuela. Estos registros corresponden a:

- Hacinamiento, referido al número de hogares que presentan más de tres personas ocupando un mismo dormitorio. A nivel nacional, el XIV Censo Nacional de Población y Vivienda 2011 indica 15,12% de los hogares.
- Vivienda inadecuada, es decir, viviendas calificadas como ranchos, casas de vecindad, carpas, contenedor y similares. Esta cifra constituye 9,38% de las viviendas.
- Carencia de servicios básicos, ausencia de servicios de agua potable o de eliminación de excretas. Se precisa que la cifra abarca uno cualquiera de los dos servicios y en el caso de disposición de excretas, califica como tal la vivienda que no esté empotrada a cloacas. Esta cifra constituye 14,79% de las viviendas, muchas de las cuales están conectadas a pozos sépticos, lo cual es una práctica sanitaria adecuada, siempre que se tenga conciencia de la necesidad de su mantenimiento periódico.

4.4 GeoVenezuela 2010 (GV-2010)

GeoVenezuela (2010), síntesis del estado del ambiente, elaborada por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, el Instituto Forestal Latinoamericano y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, presenta información de diverso orden sobre las ciudades, pero su nivel de desagregación no alcanza a las viviendas y hogares. De los indicadores utilizados en los informes sobre “Estado del Ambiente” publicados en 1995 y 1996, sólo se reportan en esta nueva evaluación los siguientes:

- Mortalidad indicando la tasa en tanto por mil (‰) para los años censales 1990 a 1994.
- Suministro de agua potable y eliminación de excretas. Se describen y cuantifican los siguientes indicadores:
 - Porcentaje de población con acceso al servicio de abastecimiento de agua potable. A este respecto indica que Venezuela cuenta con infraestructura instalada para abastecer de

agua potable a 86% de la población. La cifra reportada en el Balance Ambiental del año 1995 que realizó el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables fue de 83%.

- Proporción de población con sistemas de recolección de aguas servidas. En este caso GV-2010 reporta la caracterización por estado de la cobertura del alcantarillado. Con base en esos datos se conoce que el estado con mayor cobertura es Carabobo con 91% y el de menor cobertura es Mérida con 18,85%. La cobertura nacional promedio se indica que es de 56,9%. Sin embargo, también se señala en el texto que la cobertura es de 63,64% en estados sobre el Mar Caribe y el Océano Atlántico, y 65,20% en estados no costeros. La cifra reportada en Balance Ambiental de Venezuela 1995 fue de 62%.

4.5 Sistema de Indicadores y Estadísticas Nacionales para la Gestión Ambiental (SIENAGA)

El Sistema de Indicadores y Estadísticas Nacionales para la Gestión del Ambiente del Ministerio del Ambiente (MINAMB), con respecto a salud ambiental, contiene una serie de indicadores agregados a nivel nacional o de ciudades. Ninguno está desagregado en concordancia con hogares y viviendas. Esos indicadores son:

- Proporción de aguas residuales que recibe tratamiento.
- Residuos sólidos urbanos dispuestos adecuadamente.
- Sitios de disposición final de residuos sólidos.
- Proporción de la población con acceso a fuentes mejoradas de abastecimiento urbano.
- Proporción de la población con acceso a servicios de saneamiento mejorados.
- Proporción de la población con acceso a servicios de recolección de residuos sólidos.
- Tasa de morbilidad atribuible a enfermedades respiratorias agudas.
- Tasa de morbilidad atribuible a enfermedades de origen hídrico.

Algunos de ellos permiten inferir sobre el estado de salud ambiental en viviendas y hogares. Tal es el caso de:

- a. Proporción de la población con acceso a fuentes mejoradas de abastecimiento urbano.

Con datos de información colectada por el Instituto Nacional de Estadística y procesados por HIDROVEN, se informa que hasta 2008 la población total con acceso a fuentes mejoradas de agua potable era de 94,0%. Respecto a la población urbana, el porcentaje era de 96,0%. Precisa SIENAGA que los datos reflejan a la población con conexión domiciliaria como fuente mejorada de abastecimiento de agua.

En relación a cómo interpretar la información obtenida por el Instituto Nacional de Estadísticas, SIENAGA informa que se consideran los criterios del Programa de Monitoreo Conjunto (OMS-UNICEF), que define el acceso a los servicios de suministro de agua como la disponibilidad de al menos 20 litros por persona al día de una fuente “mejorada” situada en un entorno de un kilómetro a la vivienda del usuario. Fuentes mejoradas son todas aquellas que comúnmente proveen agua saludable. Define como tecnologías “mejoradas” del suministro de agua: conexión domiciliaria, fuente pública, pozo perforado, pozo excavado protegido, manantial protegido, recogida de agua lluvia. Fuentes no mejoradas se refieren a pozo no protegido, manantial no protegido, agua suministrada por un vendedor, agua embotellada (basada en consideraciones relacionadas a la cantidad de agua suministrada, no a consideraciones sobre la calidad del agua) y agua suministrada por un camión cisterna.

- b. Proporción de la población con acceso a servicios de saneamiento mejorados.

Con datos de información colectada por el Instituto Nacional de Estadística y procesados por HIDROVEN, se informa que hasta 2008 la población total con acceso a servicios de saneamiento mejorado era de 83,9%. Respecto a la población urbana, el porcentaje es de 85,5%. Precisa SIENAGA que los datos reflejan la población con conexión a redes de alcantarillado público como servicio de saneamiento mejorado.

En relación a cómo interpretar la información obtenida por el Instituto Nacional de Estadísticas, SIENAGA informa que se incluyen en la categoría de saneamiento mejorado las conexiones con alcantarillas públicas, conexiones a un sistema séptico, letrina de sifón, letrina de pozo simple,

letrina de pozo mejorada con ventilación. Por el contrario, las instalaciones de saneamiento no mejoradas se refieren a: letrina pública o compartida, letrina de pozo abierta, letrina de cubo. Pero aclara que, tal como se indicó, sólo se consideraron las viviendas con conexión a redes de alcantarillado público.

- c. Tasa de morbilidad atribuible a enfermedades de origen hídrico.

Con datos de morbilidad obtenidos del Ministerio del Poder Popular para la Salud y datos de población provenientes del Instituto Nacional de Estadística, SIENAGA calcula el indicador de morbilidad atribuible a enfermedades de origen hídrico, como número de casos por 100 mil habitantes. El análisis que realiza es del comportamiento tendencial para el periodo 2002-2007. Las enfermedades consideradas para el cálculo del indicador fueron: fiebre tifoidea, diarrea en infantes menores de un año, diarrea en niños comprendidos entre 1 y 4 años, diarrea en niños mayores de 5 años y hepatitis A.

4.6 Consideraciones sobre la relación Agua-Salud-Vivienda

La información sobre indicadores e índices para conocer la condición de ambiente sano o de salud ambiental de las viviendas y hogares proviene de diversas fuentes y está presentada de modo disperso. Sin embargo, es posible combinar la información disponible para producir un sistema razonablemente satisfactorio sobre el estado de salud ambiental, referida al agua, en viviendas y hogares. Debe acometerse la tarea de establecer un conjunto básico de indicadores e índices que permitan recoger información para evaluar el derecho a un ambiente sano en hogares y viviendas y la aproximación mínima puede ser, entre otros criterios, considerar los elementos constitutivos del saneamiento básico ambiental.

Para combinar la información disponible para producir un sistema razonablemente satisfactorio sobre el estado de salud ambiental, referida al agua, en viviendas y hogares, el país dispone de diversas fuentes oficiales de información, tal como se pudo apreciar en los acápite precedentes. Estas organizaciones producen cifras bajo diferentes criterios de integración de datos y correspondientes a diferentes fechas y modos de obtención de información. Se des-

taca este aspecto para advertir sobre la necesidad de precisar en cada caso, no sólo la fuente utilizada, sino información sobre la fecha de captura del dato, su modo de procesamiento, el criterio de integración utilizado y en general toda la indagación que facilite la interpretación de las cifras y su comparación con datos provenientes de otras fuentes.

5. Variabilidad y cambio climático, su impacto en el recurso agua en ciudades

En Venezuela, la Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático señala que los impactos potenciales que pueden afectar el país son el aumento de 1–2°C en la temperatura promedio para el año 2060, la reducción en las precipitaciones y el cambio en los patrones climáticos, entre otros (Martelo, 2004). Si bien los estudios indican que se presentarán un calentamiento y una tendencia hacia menor precipitación en el futuro, hay diferencias regionales importantes. El sur del país pudiera ser el más afectado, mientras que en los Andes y Centro–Norte, es decir, las principales zonas montañosas del país, hay una mayor incertidumbre.

En general, la vulnerabilidad del país es muy alta en el régimen hídrico, debido a la concentración de población al norte, donde es menor la cantidad de agua; incluso, pequeñas disminuciones de la precipitación o ligeros incrementos de las salidas de agua (como por ejemplo, la evapotranspiración –ETP) pueden tener consecuencias graves, especialmente en las zonas de climas semiáridos y sub–húmedos secos (Martelo, 2004). Por ello, es de vital importancia monitorear el efecto del cambio climático sobre las distintas fuentes empleadas para abastecimiento, ya que la mayoría de los efectos adversos están relacionados con la disponibilidad de agua.

Según Andressen (2005), los impactos de los cambios climáticos sobre los recursos hídricos van a depender de las condiciones que se tomen como base, de los mismos sistemas hídricos y de la habilidad de los administradores de dichos sistemas, para responder no sólo al cambio climático, sino también al crecimiento de la población y de las demandas, mejoras en la tecnología y cambios en las condiciones sociales, económicas y en la legislación. Debe tomarse en

cuenta que, al disminuir la disponibilidad de los recursos hídricos, también aumentará la presión sobre éstos, afectando negativamente su calidad.

La adopción de adecuadas medidas de adaptación y mitigación, frente al cambio climático, podrá garantizar que se pueda armonizar el crecimiento demográfico y económico de las próximas décadas con las limitaciones que se puedan presentar en la oferta de agua (Andressen, 2005). En este sentido se deben implementar planes de manejo de los recursos hídricos, que sean el resultado de una interacción bien planeada y concebida entre la tecnología, la sociedad, la economía y las instituciones, con el propósito de balancear la oferta y la demanda del recurso, ante escenarios de ocurrencia de extremos hidrológicos.

En noviembre de 2013, en Venezuela se realizó el Primer Simposio Nacional sobre Cambio Climático, con el objeto de: 1) comunicar a los sectores gubernamentales y no gubernamentales, al sector industrial y al público en general, el estado del arte de las actividades e investigaciones que se desarrollan a nivel nacional para conocer los impactos del cambio climático en Venezuela; 2) identificar las acciones de mitigación y adaptación al cambio climático que ya se han adoptado en el país; 3) detectar los vacíos existentes en este tema, así como también las necesidades futuras. El impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos fue uno de los temas discutidos, surgiendo propuestas de utilizar los elementos urbanos como factores mitigadores (por ejemplo, el uso de vegetación en los techos de las viviendas o “techos verdes”) (Bolívar y Cegarra, 2013).

El Primer Simposio Nacional sobre Cambio Climático culminó con la “Declaración de Caracas”, en la que expresamente se declaran los siguientes compromisos (Comité Científico del primer Simposio Nacional sobre Cambio Climático, 2013):

1. Fomentar y apoyar el trabajo conjunto entre instituciones y organizaciones públicas y privadas del país, para la generación y diseminación amplia de conocimientos sobre el cambio climático.
2. Promover el estudio multidisciplinar sobre el cambio climático.
3. Promover y apoyar la creación de un Observatorio Nacional del Cambio Climático como monitor de las necesidades de investigación, análisis y preparación en este problema, como plataforma para la identificación de opciones

viables de adaptación ante las realidades del país, y como observador crítico y factor de alerta ante los compromisos nacionales con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

4. Promover el acercamiento entre el Gobierno y todas las instituciones generadoras de conocimiento del país, como canal natural para la efectiva atención integral del problema del cambio climático.

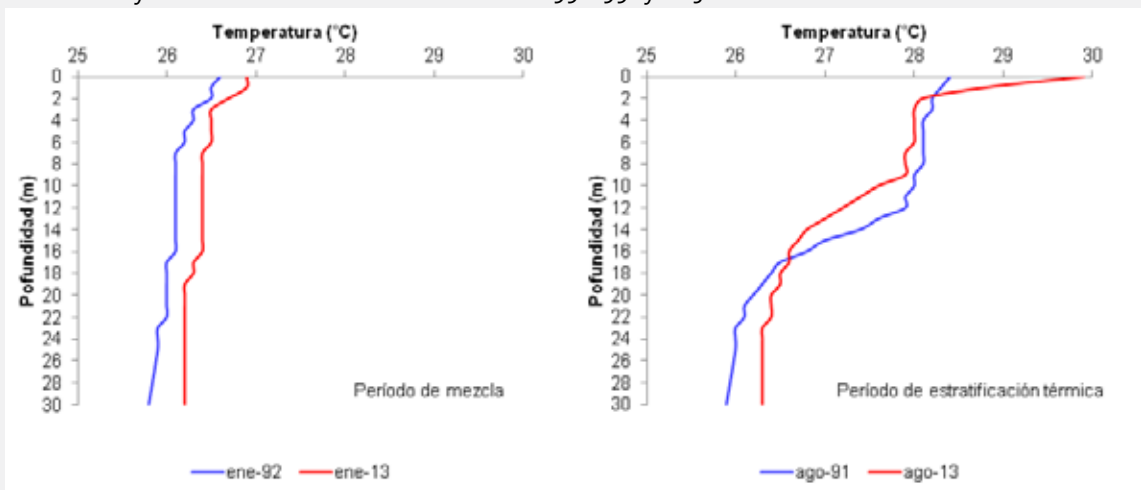
Los lagos y embalses como centinelas del cambio climático

Los lagos y embalses se pueden considerar centinelas del cambio climático, porque responden rápidamente a los cambios en la radiación solar, precipitación, viento, hidrología y en una gran variedad de entradas atmosféricas y terrestres (Williamson y col., 2009). Estos cuerpos de agua también son integradores del cambio climático, ya que ellos almacenan las señales del cambio en sus sedimentos, integrando los cambios no sólo dentro del sistema acuático, sino también en los ecosistemas terrestres circundantes. Y también son reguladores del cambio climático, en la medida que ellos: 1) reciben, procesan y almacenan grandes cantidades de carbono provenientes de las vertientes circundantes, así como también desde la productividad acuática en sus líneas de costa; 2) están envueltos en el intercambio activo de gases de efecto invernadero con la atmósfera subyacente a ellos; y 3) pueden alterar el clima regional cambiando los patrones de radiación solar, la formación de nubes, precipitación y evaporación.

Venezuela cuenta con más de 100 embalses (Ginez y Olivo, 1984), pero sólo se tiene información limnológica, aproximadamente, en 20% de ellos (González y col., 2004), y en pocos existe una serie histórica que permita hacer comparaciones con mediciones recientes.

El embalse Camatagua (estado Aragua), el principal reservorio para el abastecimiento de agua para la ciudad de Caracas, es uno de los pocos embalses con los que se cuenta con información de hace más de 20 años atrás (Infante y col., 1992) y con datos recientes a través de proyectos adelantados por el Laboratorio de Limnología de la Universidad Central de Venezuela (González y col., 2013). Este embalse, por ser un sistema profundo que desarrolla una estratificación térmica estable durante el periodo de

Figura 11. Perfiles de temperatura del agua en el embalse Camatagua en los periodos de circulación y estratificación térmica durante los años 1991-1992 y 2013



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Infante y col. (1992) y de González y col. (2013).

lluvias, puede servir como un monitor del cambio climático a través de mediciones de la temperatura de sus aguas.

El embalse Camatagua tiene más de 30 m de profundidad en su localidad cercana al dique. Durante la época de lluvias (mayo-octubre), cuando la velocidad del viento es menor, el embalse se estratifica térmicamente de manera estable. Por el contrario, durante la época de sequía (noviembre-abril), cuando la velocidad del viento aumenta, se promueve la circulación completa de las aguas y, por lo tanto, su homogeneidad térmica. Por lo tanto, se le ha clasificado como un sistema cálido monomíctico, por presentar un período de circulación completa de sus aguas en el año.

Comparando los estudios de Infante y col. (1992) y de González y col. (2013), se ha podido constatar que, a partir de los 30 metros de profundidad, actualmente las temperaturas son entre 0,1 y 0,6°C mayores a las registradas hace más de 20 años atrás (Figura 11). El aumento de la temperatura incrementa la estabilidad térmica, disminuyendo los períodos de mezcla y circulación de las aguas, todo lo cual puede conllevar a un deterioro de la calidad del agua, debido al agotamiento del oxígeno y la formación de estratos hipóxicos y anóxicos, la regeneración de nutrientes limitantes como el fósforo que pueden promover las floraciones de cianobacterias, y la liberación de gases de efecto invernadero desde el fondo de los cuerpos de agua (Williamson y col., 2009).

Si bien los datos presentados no son concluyentes sobre el efecto del cambio climático en el embalse Camatagua, ya que los efectos de la intervención antrópica pueden solaparse con los del calentamiento global, también es cierto que la temperatura del agua es un parámetro que ofrece información relevante y que bien puede monitorearse fácil y permanentemente, a fin de seguir los posibles efectos del cambio climático y poder prever con antelación sus consecuencias sobre la calidad del agua que debe ser tratada antes de ser distribuida para abastecimiento de la ciudad de Caracas, con el objeto de tomar las medidas pertinentes para enfrentarlas y mitigarlas.

5.1 Episodios de sequía extrema

Durante el año 2009 y hasta mediados del año 2010, Venezuela sufrió una de las temporadas más severas de sequía de los últimos años, como consecuencia del fenómeno de El Niño y Oscilación Sur (ENSO).

Más de 70% de la energía eléctrica del país proviene del embalse de Guri (energía hidroeléctrica) ubicado en el estado Bolívar, al sur de Venezuela, y la reducción de su volumen (disminución de más de 20 metros por debajo de su nivel normal de operación) debido a la sequía, afectó el suministro eléctrico a casi todo el país, el cual debió ser racionado para evitar su colapso. Entre las medidas tomadas, se aplicó un plan de ahorro energético de más de 900 MW, al reducirse la jornada laboral en las instituciones públicas (horas laborables: de 8:00 AM a 1:00 PM), además de un plan de corte de energía eléctrica durante determinadas horas a las diferentes ciudades. Esta situación de emergencia prevaleció desde finales del año 2009 hasta junio del año 2010.

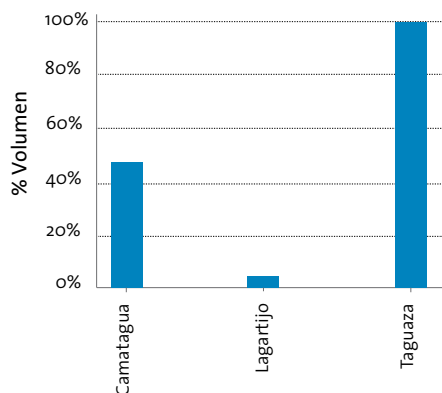
El suministro de agua potable también fue afectado, ya que gran parte de las fuentes de abasteci-

miento provienen de embalses (aguas superficiales). En el caso de la ciudad de Caracas, la situación de los embalses al inicio de la época de sequía del año 2009 se ilustra en la Figura 12, en donde puede notarse claramente el déficit de agua en ellos.

5.2 Inundaciones en ciudades

El crecimiento poblacional y su necesaria ocupación de zonas cuyas características no son óptimas para el desenvolvimiento de actividades comunes y rutinarias, ocasiona a veces inversiones costosas para adecuar esos espacios para las necesidades humanas; y peor aún, la ocupación de zonas de alto riesgo por la población de escasos recursos económicos, sin ninguna mejora que garantice una mínima seguridad de vida, ha llevado a una mayor preocupación por parte de gobiernos, el organismo de Naciones Unidas y Agencias Multilaterales en cuanto a la vulnerabilidad de los habitantes que ocupan dichas zonas (controladas o no) y a una gestión de riesgo para mitigar los potenciales daños a esas personas y propiedades.

Figura 12. Situación (en azul) de los principales embalses que suministran agua potable a la ciudad de Caracas al inicio de la época de sequía en el año 2009



Fuente: HIDROCAPITAL (2009).

En Venezuela, la ocupación de planicies inundables, laderas inestables y zonas bajas a nivel del mar representa, al igual que en muchos países, un tema de estudio. Este hecho se vio con mayor énfasis a raíz de los deslaves que ocurrieron en 1999 en más de 300 km de zona costera del país y que dejó un alto saldo de muertos y pérdidas materiales.

El origen de muchas inundaciones es, por supuesto en la mayoría de los casos, un extraordinario evento de precipitación, aunque a veces pueden ser producidas por eventos de menor magnitud pero con mucha secuencia de días o semanas de continuo llover (suelos totalmente saturados).

Existen también inundaciones periódicas, usualmente en planicies inundables de grandes ríos, causadas por fenómenos que se generan por el cambio anual de la inclinación del planeta y sus consecuencias climáticas. En Venezuela hay varios ríos que, por el tamaño de sus cuencas, producen inundaciones en sus riberas todos los años. Quizás el más destacado es el Río Orinoco que sube su nivel de aguas en algunos sitios hasta 16 metros, inundando grandes extensiones de sabanas ribereñas. Sin embargo, por poseer pocas ciudades a lo largo del recorrido de su cauce hasta la desembocadura en el Mar Atlántico, no se destaca mucho en los medios de comunicación social la acción de este río. Sólo cuando afecta a Ciudad Bolívar en el estado Bolívar o a Tucupita en el estado Delta Amacuro, es que se reseña en los principales medios de comunicación del país. No así el caso de otras ciudades, destacándose Cumaná,

Barcelona, Valencia y Caracas principalmente donde, dada la población habitante de esas ciudades, cualquier acción de las aguas es reseñada de inmediato.

Por lo tanto, se podría afirmar que las inundaciones cobran importancia en la medida en que afectan a los seres humanos y sus actividades normales, así como sus propiedades.

Un buen ejemplo de ello es lo que ocurre con el Río Guaire, río primario y principal de la ciudad de Caracas. Un pequeño río con una cuenca de unos 655 km² y precipitación promedio de 1 mil 500 mm al año, cuyas inundaciones afectan de distintas maneras a unos 6 millones de habitantes, aproximadamente 20% de la población total del país.

Canalizado en casi toda su extensión, el Río Guaire está presentando desbordes cada vez con mayor frecuencia. Esto es ocasionado por varios factores:

1. El río fue canalizado en los años 50 y 60, cuando la población de la ciudad apenas rondaba el millón de habitantes y muchas áreas de la cuenca eran terrenos baldíos, pequeños bosques de arbustos o pastizales. Existían haciendas de caña o sembradíos en sus riberas. Aun cuando se estimó un caudal de diseño bastante alto, la realidad actual es que su cauce está comprometido en algunas zonas hasta para crecientes de 25 a 50 años, dado el cambio en el uso de la tierra, según señaló un estudio del Instituto de Mecánica de Fluidos de la Universidad Central de Venezuela realizado en el año 2008.
2. La información hidrométrica era (y es) escasa, por lo que las series estadísticas no generan mucha confianza por lo corto del registro. Si a esto se añade una posible variabilidad climática (o cambio climático), la posibilidad de mayor frecuencia de inundación casi resulta evidente.
3. El proceso de urbanización (y por tanto impermeabilización) de la parte alta de la cuenca y la canalización del Río San Pedro, provocan un aceleramiento de las aguas que llegan al río, provocando un mayor pico de creciente y mayor nivel de las aguas en la cuenca media, precisamente la ciudad de Caracas.
4. Aun cuando puede decirse que son una causal menor, la acumulación de basura en sumideros, cunetas y colectores también contribuye a la inundación de calles y avenidas al no funcionar estas obras a capacidad, causando al menos demoras en el tráfico vehicular. También ocurren

casos en que al repavimentar las vías se disminuye la abertura de los sumideros de ventana, disminuyendo en consecuencia su capacidad y eficiencia.

5. Por último, en nuestras universidades no es usualmente materia de estudio el drenaje, por lo que existen pocos profesionales que puedan analizar y solucionar adecuadamente estos temas.

Estos problemas se repiten con mayor o menor importancia en muchas de nuestras ciudades. En la medida en que la población aumente y ocupe planicies inundables naturales de los ríos se irá reproduciendo lo aquí planteado. Es por ello que una planificación oportuna (planes maestros) de las poblaciones, con señalización de usos posibles de la tierra y análisis de potenciales riesgos ante eventos extraordinarios, resulta indispensable para evitar futuros daños a personas y cosas.

Según Ochoa-Iturbe (2011), los sedimentos que se encuentran en los sistemas de drenaje, usualmente provienen de los procesos naturales de erosión, descomposición en áreas boscosas, erosión en los cauces de los ríos, entre otras fuentes, los cuales son causados, entre otros factores, por cambios climáticos como sequías e inundaciones, precipitaciones fuertes e inusuales y fuegos estacionales. A medida que la población crece, la necesidad de mayor espacio habitable ha creado condiciones que multiplican muchas veces estos fenómenos naturales. Especialmente, en las primeras etapas de desarrollo urbano y construcción, la carga de sedimentos aumenta cientos de veces alterando las características de los canales de los ríos y quebradas (formas y pendientes), las cuales a su vez modifican sus respectivos regímenes de flujo. En los países en desarrollo, este hecho es agravado por el desarrollo incontrolado, producto de la falta de regulaciones o de la débil aplicación de normas y estándares.

Otra fuente de sólidos que afecta a los pequeños arroyos y colectores de drenaje, especialmente en los países en desarrollo, es que los ciudadanos tienen el hábito de arrojar desechos en quebradas y arroyos, debido a la ineficiente gestión de recolección de residuos sólidos (Ochoa-Iturbe, 2011). Estos desechos son arrastrados, por lo general, durante las primeras lluvias de la estación lluviosa, creando problemas de obstrucción en sistemas de drenajes urbanos, muy especialmente en los colectores de menor tamaño.

Finalmente, otro problema en el drenaje urbano es el aumento de los deslizamientos de tierra causados por los fenómenos climáticos extremos, los cuales a menudo son provocados por la intervención humana en las cuencas urbanas. En estos casos, la pérdida de vidas humanas y los bienes son a veces alarmantes.

Además, en la actualidad se trasvasan grandes volúmenes de agua desde fuentes superficiales (lagos y embalses) ubicados en cuencas lejanas a las ciudades para satisfacer las necesidades de abastecimiento de agua a las poblaciones, con la consecuente alteración del ciclo del agua urbano, por lo que se potencia el riesgo de los episodios de inundaciones y de las graves consecuencias que ellas pueden producir en términos de pérdidas de vidas humanas y bienes materiales.

Los aludes torrenciales que se produjeron el año 1999 en el estado Vargas (región Centro-Norte costera de Venezuela) dejaron grandes lecciones a los venezolanos (López, 2005). Las pérdidas humanas hubieran podido disminuirse en caso de que se hubiese implementado un conjunto de medidas de prevención y mitigación.

En vista de lo anterior se han recomendado y establecido medidas para mitigar el efecto de estos episodios (López, 2005). Éstas se pueden resumir a continuación:

Medidas estructurales:

- Canalización de ríos y quebradas.
- Control de sedimentos.
- Control de la erosión en las pendientes.

Medidas no estructurales:

- Monitoreo de condiciones hidrometeorológicas en las cuencas de los ríos (actualmente se cuentan 25 estaciones hidrometeorológicas para el valle de la ciudad de Caracas y para el estado Vargas).
- Elaboración de mapas de riesgos.
- Elaboración de planes de contingencia.
- Instalación de sistemas de alarma temprana (como por ejemplo, radar Doppler).

Hasta el año 2005, se habían construido unas 24 presas para el control de sedimentos en el estado Vargas, repartidas entre las cuencas de los ríos Curucutí, Guanape, Piedra Azul, El Cojo, Alcantarilla, Macuto y

Camurí Chico, las cuales brindan un cierto grado de protección a las poblaciones ubicadas aguas debajo de dichas obras (López, 2005). Sin embargo, se llama la atención de que estas presas se están sedimentando rápidamente, y que por no tener una capacidad adecuada de almacenamiento van a quedar fuera de servicio en un periodo corto de tiempo. Esto se acrecienta por la ausencia de ventanas o conductos de salida en algunas de las presas que no permiten el paso de los sedimentos transportados por las crecientes ordinarias.

López (2005) afirma que una de las causas de la tragedia de Vargas (ocurrida en el año 1999) fue que no existían sistemas de alerta que pudieran dar un aviso anticipado a la población para tomar las medidas de evacuación necesarias. La posibilidad de que se generen aludes torrenciales depende de la cantidad e intensidad de la lluvia, del grado de saturación de los suelos, de la presencia de pendientes pronunciadas en la cuenca, así como de las características de los suelos para proveer el material sedimentario para la formación de los aludes. Por esta razón, los dos factores más importantes para el establecimiento de un sistema de alerta temprana son el monitoreo continuo de la lluvia y el de la humedad del suelo. Para que se pueda instrumentar un sistema de alerta temprana se requiere que las estaciones de monitoreo sean telemétricas, es decir que transmitan información en tiempo real, a intervalos regulares (cada 5 ó 10 minutos, por ejemplo), a un sistema central de control, el cual debe encargarse de dar la señal de alerta a los organismos competentes. Sin embargo, de las 25 estaciones repartidas entre el estado Vargas (14) y Caracas (11), solamente nueve de ellas son telemétricas. La mayoría de las estaciones telemétricas están ubicadas en la cuenca de San José de Galipán, donde el Instituto de Mecánica de Fluidos, en conjunto con el Departamento de Ingeniería Hidrometeorológica de la Universidad Central de Venezuela (UCV), lleva a cabo un proyecto de investigación sobre la generación de aludes torrenciales y sus medidas de prevención.

Adicionalmente, el Ministerio del Ambiente instaló, en el año 2004, un radar meteorológico Doppler en la Colonia Tovar, el cual constituye una herramienta importante a los fines de predicción anticipada de la lluvia con varias horas o días de antelación. El radar permite un barrido atmosférico con un radio de alcance de hasta 150 km y se basa en el efecto

Doppler, de emitir ondas que rebotan en las gotas de agua de las nubes, por lo que se puede medir la cantidad de agua que ellas transportan.

Investigadores del Instituto de Mecánica de Fluidos han desarrollado una metodología para la obtención de mapas de amenaza por inundación torrencial, utilizando modelos matemáticos de simulación de flujos torrenciales acoplados con modelos digitales del terreno y sistemas de información geográfica (López, 2005). Esta metodología ha sido aplicada en 19 cuencas del estado Vargas y siete cuencas del valle de Caracas, en un trabajo llevado a cabo conjuntamente con el Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar en el marco del Proyecto Ávila. Los resultados de los mapas de amenaza indican que importantes áreas urbanizadas del estado Vargas y del valle de Caracas están ubicadas dentro de zonas con alto riesgo de sufrir inundaciones torrenciales.

Los expertos recomiendan intensificar los esfuerzos para la implementación de los sistemas de alerta temprana en las cuencas del estado Vargas y del valle de Caracas. La instalación de una red de monitoreo y alerta temprana para 12 cuencas prioritarias acarrea un costo en el orden de US\$ 900 mil. El manejo, operación y mantenimiento de esta red debe realizarse directamente por centros de control a ser creados a nivel regional, donde se involucre a las comunidades afectadas para que participen en dichas actividades.

Otro caso relacionado con los problemas de inundaciones, como consecuencia de los trasvases de grandes volúmenes de agua, se refiere a la cuenca del Lago de Valencia (estados Aragua y Carabobo).

A finales de la década de los años 70, el Lago de Valencia sufría de un proceso de desecación natural, el cual era acelerado por las actividades humanas, lo que generó que alcanzara su nivel mínimo (402 m.s.n.m.). Debido a ello, se desviaron las aguas de varios ríos de cuencas vecinas hacia el lago, principalmente las del Río Cabriales a través del Caño Central.

Como una consecuencia de este desvío de los ríos, el nivel de las aguas del Lago de Valencia se incrementó, inundando áreas agrícolas y urbanas; los asentamientos urbanos alrededor del lago fueron prohibidos, pero esto no fue suficiente para detenerlos. Actualmente su cota sobrepasa los 413 m.s.n.m., lo cual ha generado graves problemas de inundaciones en urbanizaciones del estado Aragua, como Mata Redonda, y que han sido reseñados ampliamente por

la prensa nacional, debido a la pérdida de bienes materiales generados.

Debido a esto, conjuntamente con la presión ejercida por la población y por los medios de comunicación, a partir de noviembre de 2005 se desviaron los ríos Maruria y Cabriales hacia la cuenca del Río Pao, uno de los principales afluentes del embalse Pao-Cachinche, del cual se surten de agua potable las ciudades de Valencia (estado Carabobo), Maracay (estado Aragua) y San Carlos (estado Cojedes), además de varias poblaciones aledañas (González y Matos, 2012). La alta carga orgánica contenida en estos ríos causó el agotamiento del oxígeno en la columna de agua del embalse, disminuyendo parte de los beneficios obtenidos luego de la desestratificación artificial que en este embalse se iniciara en el año 2001 (Estaba y col., 2006).

Otra medida empleada para mitigar los efectos del aumento del nivel del Lago de Valencia fue la extracción de agua a través de un trasvase hacia la cuenca del Río Pao. De igual manera, el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales Taiguaiguay (Edo. Aragua), fue desviado hacia el embalse Taiguaiguay, y de allí se bombea agua hacia el Río Tucutunemo para la construcción del sistema de riego hacia los valles de esta zona. Sin embargo, por no haberse completado totalmente esta obra, parte del efluente de este sistema está siendo vertido hacia el Río Guárico, principal afluente del embalse Camatagua (Edo. Aragua), conllevando a un deterioro en la calidad del agua de este cuerpo de agua, el cual pasó de mesotró-

fico a eutrófico en los últimos años (González y col., 2014). Cualitativamente, el cambio en el color de las aguas (de azul a verde) es un claro reflejo del cambio en el estado trófico sufrido por el embalse Camatagua luego del trasvase de las aguas desde fuentes de baja calidad (Figura 13).

En el caso del manejo de los desechos sólidos, Ochoa-Iturbe (2011) comenta que, en los países en vías de desarrollo, las clases media y alta de las zonas urbanas suelen tener sistemas adecuados de recolección de residuos sólidos. Sin embargo, los sectores más pobres tienen sistemas de recolección limitados (una o dos veces por semana en algunos casos) y la práctica más común para estas personas es llevar sus propios residuos a un depósito, a veces a una cierta distancia de los hogares. En algunas ciudades, con pendientes de alta montaña (como en el caso de la ciudad de Caracas), podría resultar más fácil volcar los residuos sólidos en las quebradas o pendientes cercanas, con la seguridad de que las siguientes lluvias lo transportarán aguas abajo. Es por ello que debe ser realizado un gran esfuerzo por las autoridades, trabajando en dos líneas principales: 1) la educación, para enseñar a la población que arrojar desperdicios en las quebradas podría crear un riesgo ambiental que resultaría ser contraproducente para ella (aumento de la existencia de moscas y mosquitos, entre otros), y 2) la creación de sistemas de recolección de residuos sólidos que faciliten a la población la disposición de estos residuos y, a la vez, estimularla para que usen estos sistemas.

Figura 13. El cambio de estado trófico del embalse Camatagua puede notarse cualitativamente en el cambio del color de sus aguas



Fotografías tomadas en septiembre de 1997 y en septiembre de 2012 por Ernesto J. González

Limnología y gestión de recursos hídricos

Los limnólogos en Venezuela han recolectado gran cantidad de datos sobre las características físicas, químicas y biológicas de varios cuerpos de agua. Los datos pueden ser agrupados y, así, pueden transformarse en herramientas útiles y predictivas (González y Quirós, 2011).

Algunas generalidades y tendencias pueden ser observadas al agrupar los datos de 15 cuerpos de agua (Figura 14) estudiados por el Laboratorio de Limnología de la Universidad Central de Venezuela, la mayoría de ellos empleados para el suministro de agua potable.

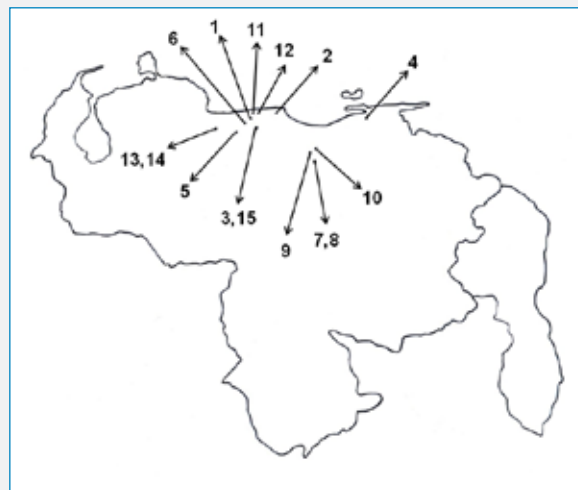
En los embalses estudiados se ha registrado una clara relación lineal entre el fósforo total y el nitrógeno total con la biomasa del fitoplancton (como clorofila-a) (Figura 15).

Otras relaciones empíricas permiten extraer información valiosa, a pesar de no encontrarse relación aparente entre las variables involucradas. A simple vista, la distribución de los embalses según el fósforo total y el cociente nitratos:amonio ($\text{NO}_3:\text{NH}_4$) muestra una dispersión alta de los datos (Figura 16). En este caso se logran diferenciar tres grandes grupos de embalses. El primer grupo queda conformado por aquellos embalses en los que las concentraciones de fósforo total son bajas ($<20 \mu\text{g/l}$, representados con círculos negros), mientras que en el grupo de embalses con concentraciones de fósforo total de moderadas a altas ($>20 \mu\text{g/l}$) se pueden notar dos grupos más claramente diferenciados: uno de ellos (el inferior, en triángulos negros) está representado por los embalses en los que hay un predominio del amonio sobre los nitratos, y algunos con tiempos de residencia de sus aguas relativamente altos; en éstos, las cianobacterias son dominantes. El otro grupo (el superior, en rombos negros) lo componen los embalses con un mayor predominio de los nitratos sobre el amonio, cuyos tiempos de residencia son relativamente cortos y en los que los grupos de fitoplancton dominantes son diferentes a las cianobacterias, como por ejemplo las diatomeas, las algas verdes o los flagelados. La excepción estaría representada por el embalse Loma de Níquel (en círculo blanco), que está muy cercano al límite entre las concentraciones de fósforo total bajas y altas y presentó dominancia de cianobacterias durante los períodos de estudio, razón por la cual no se incluyó en ninguno de los tres grupos antes descritos. Así, la predominancia de cianobacterias –algunas de ellas con cepas que pueden ser tóxicas y pueden causar problemas de salud pública– puede ser predicha al realizar la caracterización física y química de las aguas de los embalses.

Basado en estos estudios es evidente que para controlar la eutrofización de los cuerpos de agua, debe controlarse la entrada de nutrientes, especialmente del fósforo y del nitrógeno.

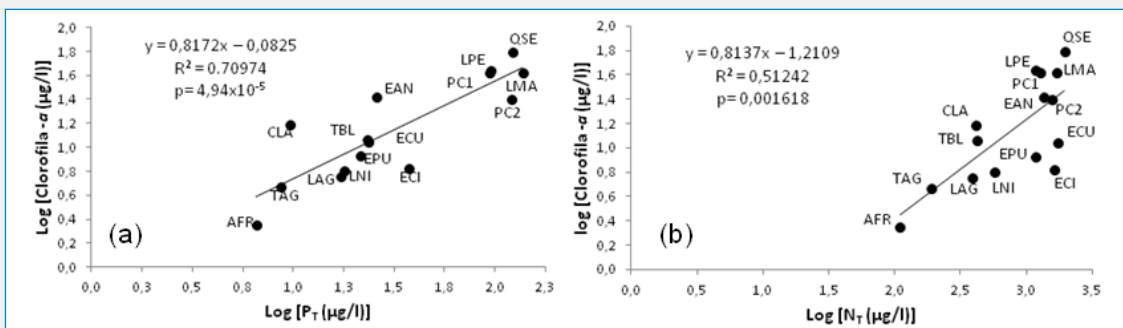
Figura 14. Embalses estudiados por el Laboratorio de Limnología de la Universidad Central de Venezuela

1. Agua Fría,
2. Taguaza,
3. Lagartijo,
4. Clavellinos,
5. Tierra Blanca,
6. Loma de Níquel,
7. El Cigarrón,
8. El Pueblito,
9. El Cují,
10. El Andino,
11. La Mariposa,
12. La Pereza,
13. Pao-Cachinche (ala oeste),
14. Pao-Cachinche (ala este),
15. Quebrada Seca.



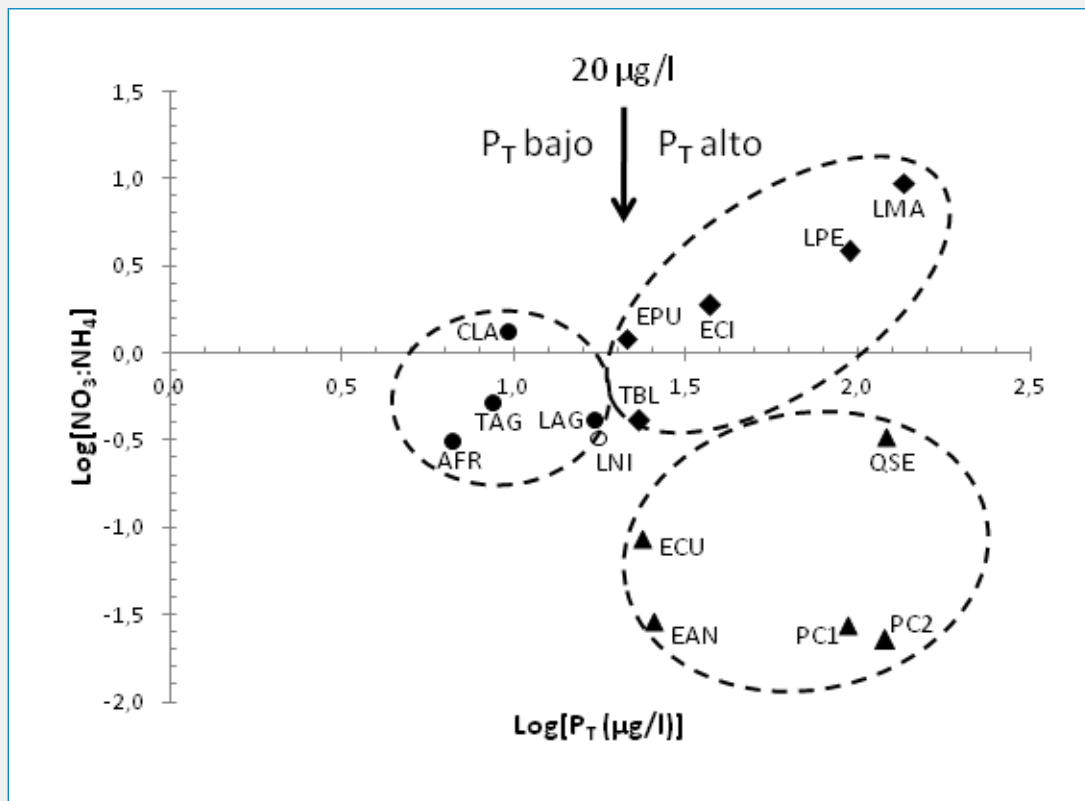
Fuente: González y Quirós (2011).

Figura 15. Relación entre: a) fósforo total (PT) y la clorofila-a (Chl-a), y b) nitrógeno total (NT) y la clorofila-a en los embalses venezolanos



AFR: Agua Fría, TAG: Taguaza, LAG: Lagartijo, CLA: Clavellinos, TBL: Tierra Blanca, LNI: Loma de Níquel, ECI: El Cigarrón, EPU: El Pueblito, ECU: El Cují, EAN: El Andino, LMA: La Mariposa, LPE: La Pereza, QSE: Quebrada Seca, PC1: Pao-Cachinche –ala oeste con aliviadero y torre-toma–, PC2: Pao-Cachinche –ala este sin aliviadero. Modificado de González y Quirós (2011).

Figura 16. Relación entre el fósforo total y el cociente NO₃:NH₄ en los embalses venezolanos.



AFR: Agua Fría, TAG: Taguaza, LAG: Lagartijo, CLA: Clavellinos, TBL: Tierra Blanca, LNI: Loma de Níquel, ECI: El Cigarrón, EPU: El Pueblito, ECU: El Cují, EAN: El Andino, LMA: La Mariposa, LPE: La Pereza, QSE: Quebrada Seca, PC1: Pao-Cachinche –ala oeste con aliviadero y torre-toma–, PC2: Pao-Cachinche –ala este sin aliviadero. Modificado de González y Quirós (2011).

Factores productores de cambios en el ciclo del agua y su efecto sobre la biodiversidad en la cuenca del Río Orinoco y cuencas vecinas

Ámbito

Venezuela posee (compartida con Colombia) una de la mayores cuencas hidrográficas y reservas de agua del mundo. La cuenca del Río Orinoco es la tercera del planeta. Durante su curso de 2 mil km drena un área aproximada de 90 mil km², representando 94,44% del volumen total drenado en las cuencas hidrográficas venezolanas. Río considerado de aguas blancas y con abundante sedimento en suspensión (200 x10⁶ ton/año). Régimen climático dominado por dos estaciones (lluvias y sequía) de más o menos igual extensión: lluvias (junio-noviembre), sequía (diciembre-abril). Durante el primero, las aguas cubren extensas áreas de sabana formando lagunas poco profundas (esteros) y penetrando en los bosques ribereños; en el segundo, se produce una reducción drástica en el nivel de las aguas, drenando sabanas y eliminando miles de kilómetros cuadrados de hábitats acuáticos. Estas dos estaciones regulan los ciclos biológicos de componentes de la flora y fauna acuáticas (Tabla 11). Cualquier cambio que se produzca tanto en el clima como en la ciclicidad hídrica podría afectar parcial o totalmente los elementos bióticos del sistema.

Tabla 11. Resumen de los factores ambientales que regulan las comunidades

Lluvias	Sequía
Cambios físico-químicos en el agua; aumento del oxígeno disuelto y transparencia; reducción del pH; temperatura más baja; nutrientes.	Cambios físico-químicos en el agua; reducción del oxígeno disuelto; reducción de transparencia; aumento temperatura; concentración de sedimentos y nutrientes; aumento del pH.
Incremento de los hábitats acuáticos: ríos, caños, lagunas, esteros, bosques inundados	Reducción de hábitat y nichos tróficos; desecamiento de bosques y sabanas; reducción o eliminación de caños, esteros, bosques inundados y lagunas; reducción de caudal de ríos.
Incremento en la productividad primaria y secundaria; reproducción y crecimiento; diversificación de dieta; preparación y maduración sexual.	Alta mortalidad y/o migración hacia canales y ríos que mantienen agua. Reducción del crecimiento; maduración de gónadas.
Procesos de descomposición de material orgánico depositado en el suelo de bosques y sabanas.	Acumulación en suelo de material orgánico producido o transportado en la fase anterior.

Fuente: Elaboración propia

Factores productores de cambio o impacto por el uso del agua con fines del desarrollo humano

El recurso agua es vital para el desarrollo humano. Durante milenios, la fundación de las poblaciones se ha realizado en asociación con este importante líquido y sus fuentes, y de alguna manera hemos intervenido en su ciclo, muchas veces no tomando en cuenta el beneficio que la misma da al mantenimiento de la vida silvestre (Figura 17).

Existen pocos trabajos de investigación que pueden documentar en forma cuantitativa o cualitativa el impacto biológico causado por cambios en el ciclo hidrológico o contaminación de las aguas continentales venezolanas. Sin embargo, basados en investigaciones desarrolladas por Petts (1985; 1990a,b), planes gubernamentales y reportes técnicos (Rangel, 1979; Taphorn, 1980; Machado-Allison, 1990; Taphorn y García, 1991; Machado-Allison, 1994; Veillon, 1997; Machado-Allison, 1999; Marrero, 2000; Machado-Allison, 2005; Andrade y Machado-Allison, 2008; Machado-Allison y col., 2011) se pueden clasificar las intervenciones de esta manera:

1. Represamiento de aguas con fines domésticos o agrícolas.- Las represas con fines agrícolas o domésticos fueron extensivamente construidas en los últimos 50 años, cuando casi todas las cabeceras de los afluentes principales del Río Orinoco por su vertiente norte han sido intervenidas, como en el caso de los ríos: Apure, Boconó, Cojedes, Guanare, Guárico, Masparro, Portuguesa y San Domingo. En la vertiente sur, el Río Caroní (principalmente hidroeléctrica). Otros ríos de menor importancia nacional, pero sí regional, son las cabeceras del Manzanares, Neverí, Unare y Tuy al norte del país (Figura 18). Las represas (ver Tabla 12) causan:
 - Alteración o regulación del régimen anual hidrológico, afectando los ciclos vitales de animales y plantas que dependen de él (por ejemplo, migraciones de peces con fines reproductivos, inundación de sabanas y bosques ribereños).
 - Contaminación por actividad doméstica (urbana) y/o agrícola. Las aguas utilizadas en áreas urbanas o agrícolas (lavado) son descargadas de nuevo como aguas residuales. Aunque las regulaciones nacionales obligan a su tratamiento, es evidente que el mismo no ocurre y, en consecuencia, las descargas de aguas con hidrocarburos (aceites), fertilizantes, insecticidas y residuos industriales (metales pesados) entran al medio acuático produciendo alteración en la calidad del agua y afectaciones fisiológicas y bioquímicas en los organismos que lo habitan.
2. Deforestación con propósitos urbanos o agrícolas.- La Figura 19 muestra un área deforestada con fines agrícolas en el piedemonte venezolano. Estas áreas han sido extensa e intensamente al-

Figura 17. Ciclo del agua y su uso para el desarrollo humano



Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Principales represas construidas en Venezuela



Fuente: Machado-Allison y col. (2011).

Tabla 12. Esquema mostrando actividades, acciones, efectos e impactos sobre el ecosistema acuático

Actividades	Acciones	Efectos	Impactos
Cierre de río (represa)	<ul style="list-style-type: none"> - Bloqueo de flujo por construcción de diques - Variación de la hidrodinámica del sistema fluvial, tanto en el canal principal como en áreas de influencia (por ejemplo, sabanas y bosques ribereños) 	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción de flujo aguas abajo o extensión lateral - Aumento de la temperatura y disminución del oxígeno disuelto - Efecto sobre la migración - Aumento del nivel del agua en rutas alternas aguas arriba - Bloqueo de paso de organismos acuáticos - Colonización y cambios de uso de la tierra - Acidificación de los suelos abonados y pérdida de fertilidad - Deposición e incremento de sedimentos aguas arriba y abajo - Eliminación de amenazas de inundación 	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción de riqueza de hábitats y especies; afectación de la biodiversidad - Reducción del intercambio de organismos; pérdida de la biodiversidad - Disminución del transporte fluvial - Cambio en la estructura de las comunidades acuáticas y terrestres asociadas

Fuente: Elaboración propia

teradas (Centeno, 1999). Las deforestaciones han causado una disminución en la intensidad de las lluvias y, por supuesto, una reducción sustancial del caudal de nuestros ríos. Por otro lado, ha incrementado las descargas de materiales sólidos (sedimentos) debido a la erosión. Esto ha producido modificaciones en la calidad de las aguas para la vida (cambios en la temperatura, pH, transparencia) y eliminación física de microhábitats.

Figura 19. Deforestación y su efecto sobre los ríos



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes de "Google Earth".

Situación de algunos ríos venezolanos

Estudios y seguimiento de documentos producidos por los encargados del mantenimiento del saneamiento ambiental (www.monografias.com) y de contaminación del agua (<http://www.monografias.com/trabajos/contamagua.shtml>) han determinado que existen varias regiones o cuencas en el país con serios deterioros ambientales acuáticos. Entre éstos se encuentran:

- Los ríos Guaire y Tuy, en la región Capital.
- El lago de Valencia y sus ríos tributarios.
- Los valles de los ríos Tocuyo y Aroa.
- Sistemas de los ríos Guárico y Portuguesa.
- Los ríos Unare, Neverí, Manzanares, Guarapiche y sus afluentes.
- El Lago de Maracaibo.

Los ríos y cuerpos de agua anteriormente indicados se encuentran localizados en sitios altamente poblados. Ellos reciben efluentes urbanos contaminados con residuos domésticos, industriales y, en muchos casos, agrícolas. Al fallar las plantas de tratamiento, estas aguas contaminadas corren libremente afectando embalse y ciudades localizadas aguas abajo. Hoy día, por ejemplo, se presentan graves problemas dado el trasvase de aguas contaminadas del Lago de Valencia hacia el embalse que surte agua a la ciudad. Igualmente sucede con los ríos Guárico y Portuguesa, que vierten sus aguas a embalses que surten de agua a las poblaciones de las regiones de los llanos y la capital del país.

Recomendaciones sobre los factores productores de cambios en el ciclo del agua y su efecto sobre la biodiversidad en la cuenca del Río Orinoco y cuencas vecinas

Se ha tratado de realizar una descripción sucinta de los factores naturales y antrópicos que regulan o moldean los ciclos vitales en los ecosistemas acuáticos de Venezuela, haciendo énfasis en aquellas actividades humanas que colocan en peligro directo a las comunidades acuáticas. Los investigadores

deben conocer cómo se comportan estos ecosistemas antes de ser alterados en términos biológicos, productivos, sociales y culturales. Se debe y se tiene la obligación de educar e influenciar en aquellos que toman decisiones sobre cómo puede intervenirirse causando el menor daño posible y garantizar el uso de un recurso en forma sostenible. Así se debe:

- Garantizar un manejo adecuado y control de estas actividades.
- Responder a las diferentes normativas nacionales (leyes, reglamentos y normas relacionadas con las aguas y el ambiente).
- Aplicar los convenios y normas internacionales sobre uso de sustancias (por ejemplo, plaguicidas o insecticidas, fertilizantes, etcétera).
- Educar a todos los niveles sobre los riesgos que poseen las aguas contaminadas.
- Promover estudios científicos que permitan dar una base de apoyo rigurosa y formación de personal técnico adecuado.

Unas palabras finales

Venezuela cuenta con una de las redes hidrográficas más grandes y extensas del mundo. Esto ha servido para que, durante milenios, se produjera uno de los más interesantes procesos biológicos de nuestro planeta y convirtiera a Venezuela en un país megadiverso. La cuenca del Río Orinoco representa uno de los mayores humedales de la región Neotropical (Hamilton y Lewis, 1990; Machado-Allison, 1990), sustento de millares de especies, muchas de ellas de importancia económica y de alimentación de los pueblos. Existe la responsabilidad histórica en conservarlos para el disfrute de las generaciones futuras.

Desde los Andes hasta el Delta del Orinoco, las grandes ciudades y concentraciones humanas se encuentran establecidas en las orillas o cercanía de los grandes ríos afluentes del Orinoco, de la Costa Caribeña, Lago de Maracaibo y Lago de Valencia. Estos ríos han sido represados o han servido para tomar sus aguas con fines domésticos, agrícolas o industriales, lo que ha garantizado el desarrollo del país. Sin embargo, el costo ambiental es enorme. Aguas contaminadas con detergentes, aceites, metales pesados, insecticidas y muchos otros contaminantes fluyen aguas abajo impactando la salud de ríos, mares o lagos. Esta situación no solamente coloca en peligro la vida silvestre que habita estos cuerpos de agua, sino que también genera la posibilidad de afectación humana en pobladores situados allende del origen del contaminante. Dado que las cuencas son sistemas interconectados, los contaminantes, una vez en ellos, los afecta en su totalidad.

6. Consideraciones finales

- Las áreas más densamente pobladas de Venezuela están localizadas en regiones con la menor disponibilidad de agua. Esto supone costos elevados de abastecimiento de agua para las ciudades.
- La cobertura en el suministro de agua potable y en la recolección de aguas residuales está aumentando rápidamente en Venezuela. Sin embargo, el porcentaje de tratamiento de las aguas servidas aún es bajo.
- Se están ejecutando planes importantes de saneamiento, como el Proyecto de Saneamiento del Río Guaire y el Proyecto Integral de Saneamiento y Control de Nivel de la Cuenca del Lago de Valencia.
- Existe la necesidad de atender y resolver los problemas y las enfermedades asociadas al agua.
- Ante el cambio climático se deben implementar planes de manejo de los recursos hídricos, que sean el resultado de una interacción bien planeada y concebida entre la tecnología, la sociedad, la economía y las instituciones, con el propósito de balancear la oferta y la demanda del recurso, ante escenarios de ocurrencia de extremos hidrológicos.
- Existe la necesidad de atender los problemas generados por las crecidas (inundaciones) y sus consecuencias. Algunas medidas estructurales y no estructurales ya han sido tomadas.
- El uso de la información limnológica puede ayudar en el manejo de los recursos hídricos del país.
- Los planes de gestión de los recursos hídricos y la mitigación de los problemas relacionados con el ciclo del agua en las zonas urbanas deben contar con la participación de las comunidades organizadas.

7. Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales de Venezuela y de los integrantes del Programa de Aguas de la Red Inter-Americana de Academias de Ciencias (IANAS).

8. Referencias

- Andrade J. y Machado-Allison, A. (2008). El control de los ríos y su impacto sobre la ictiofauna: una revisión. *Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*, 68(4): 31-50.
- Andresen, R. (2005). El futuro del agua en Venezuela. La Era Ecológica, 4. En: www.eraecologica.org/revista_04/era_ecologica_4.htm?futuro_del_agua.htm~mainFrame. Consultado en línea el 17 de noviembre de 2011.
- Arconada, S. (2005). La experiencia venezolana en la lucha por un servicio de agua potable y saneamiento encaminado a cubrir las necesidades de la población. En: B. Balanyá, B. Brennan, O. Hoedeman, S. Kishimoto y P. Terhorst. *Por un modelo público de agua. Triunfos, luchas y sueños*. Transnational Institute, Corporate Europe Observatory y El Viejo Topo, Amsterdam: 141-146.
- Barrera, R.; Delgado, N.; Jiménez, M.; Villalobos, I. y Romero, I. (2000). Estratificación de una ciudad hiperendémica en dengue hemorrágico. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 8(4): 233-255.
- Bolívar, Z. y Cegarra, D. (2013). Lo urbano como mitigador del cambio climático. Memorias del Primer Simposio Nacional sobre Cambio Climático: Perspectivas para Venezuela. Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales. Caracas: 34-35.
- Castillo, C.E.; Gómez, J. y Montes, C. (1973). *El agua*. Serie Embalses de Venezuela. Volumen 1, N° especial. Caracas.
- Centeno, J. (1999). Deforestación fuera de control en Venezuela. En: www.ciens.ula.ve/~j.centeno/DEFOR-ES.html.

- Comité Científico del Primer Simposio Nacional sobre Cambio Climático (2013). Declaración de Caracas sobre el Cambio Climático. *Interciencia*, 38(11): 757.
- Custodio, E. (1996). *Hidrología subterránea*. Barcelona, Ediciones Omega, S.A. 2500 pp.
- Decarli, F. (2009). *Agua subterráneas en Venezuela*. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Gerencia de Redes Hidrometeorológicas.
- Delaware (1950). Seismograph Service Corporation. Informe sobre las investigaciones de aguas subterráneas del Valle de Caracas para el Instituto Nacional de Obras Sanitarias. 180 pp.
- Delgado Petrocelli, L.; Aguilar, V.H.; Marichal, F.; Camardiel, A.; Córdova, K. y Ramos, S. (2013). Patrones culturales y su asociación con la dinámica del dengue en el estado Mérida 2001-2009. Memorias de las V Jornadas Nacionales de Geomática, CPDI-FII, Caracas.
- Delgado Petrocelli, L.; Camardiel, A.; Aguilar, V.H.; Martínez, N.; Córdova, K. y Ramos, S. (2011). Geospatial tools for the identification of a malaria corridor in Estado Sucre, a Venezuelan north-eastern state. *Geospatial Health*, 5(2): 169-176.
- Demirel, Z. y Güler, C. (2006). Hydrogeochemical evolution of groundwater in a Mediterranean aquifer, Mersin-Erdemli Basin (Turkey). *Environmental Geology*, 49: 477-487.
- Domenico, P.A. y Schwartz, F.W. (1990). *Physical and Chemical Hydrogeology*. New York, John Wiley and sons, Inc. 824 pp.
- Durán, L. (2011). Las políticas hídricas en Venezuela en la gestión de las aguas subterráneas. *Revista Voces: Tecnología y Pensamiento*, 5(1-2): 93-106.
- Escalona, L.; Espitia, M. y García, L. (2009). Descripción y caracterización del sector agua potable en Venezuela. *Cayapa*, 9(18): 9-31.
- Estaba, M.; González E.J. y Matos, M.L. (2006). Desestratificación artificial en el embalse Pao-Cachinche: Primer y exitoso caso de mejoramiento de la calidad del agua en Venezuela. En: J.G. Tundisi, T. Matsumura-Tundisi & C. Sidagis-Galli (Eds.). *Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gestão*. São Carlos, Brasil Rede, EUTROSUL, PROSUL, Instituto Internacional de Ecología: 429-455.
- Ettazarini, S. (2004). Incidents of water-rock interaction on natural resources characters, Oum Er-Rabia Basin (Morocco). *Environmental Geology*, 47: 60-75.
- Faría, J. (2006). La Revolución del Agua. *Ambiente*, 27 (72): 5.
- Freile, A. (1960). Un procedimiento gráfico para la interpretación geoquímica del agua subterránea del Valle de Caracas. III Congreso Geológico Venezolano. Caracas: 1719-1733.
- Fundación de Educación Ambiental (FUNDAMBIENTE) (2009). Recursos Hídricos de Venezuela. Caracas, Ministerio del Ambiente y Fondo Editorial Fundambiente. 167 pp.
- Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela (GORBV) (2011). N° 39.788 del 28 de octubre de 2011.*
- Gaceta Oficial de República de Venezuela (GORV) (1995). N° 5.021 Extraordinario del 18 de diciembre de 1995.*
- Gaceta Oficial de República de Venezuela (GORV) (1998). N° 36.395 del 13 de febrero de 1998.*
- Guarduño, H. y Nanni, M. (2003). Venezuela - Yacambú-Quíbor: Un proyecto para integrar la gestión del agua subterránea y el agua superficial. Sustainable Groundwater Management. Lessons from Practice Case. Profile Collection, N° 7. Informe 38807. En: <http://documentos.bancomundial.org/curated/es/2003/01/7426390/venezuela-yacambu-quibor-project-integrated-groundwater-surface-water-management-venezuela-yacambu-quibor-un-proyecto-para-integrar-la-gestion-del-agua-subterranea-y-el-agua-superficial>. Consultado en línea el 2 de marzo de 2014.
- GeoVenezuela (2010). GeoVenezuela. Perspectivas del Medio Ambiente En Venezuela. Programa De Las Naciones Unidas Para El Medio Ambiente. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Caracas, Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. Instituto Forestal Latinoamericano. 226 pp.
- Ginez, A. y Olivo, M.L. (1984). Inventarios de los embalses con información básica para la actividad piscícola. I. Sinopsis de los embalses administrados por el MARNR. Caracas, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Serie Informes Técnicos DGSPOA/IT/183.
- Gomes, D. (1997). Misión de entrenamiento y desarrollo preliminar del modelo de flujo de aguas subterráneas del Valle de Caracas, Venezuela. Informe Final de la Misión del 5 al 19 de julio. Preparado para el Organismo Internacional de Energía Atómica.

- Gomes, D. (1999). Misión de entrenamiento y desarrollo preliminar del modelo de flujo de aguas subterráneas del Valle de Caracas, Venezuela. Informe Final de la Misión del 10 al 19 de diciembre. Preparado para el Organismo Internacional de Energía Atómica.
- González, E.J.; Carrillo, V. y Peñaherrera, C. (2004). Características físicas y químicas del embalse Agua Fría (Parque Nacional Macarao, Estado Miranda, Venezuela). *Acta Científica Venezolana*, 55: 225-236.
- González, E.J. y Quirós, R. (2011). Eutrophication of reservoirs in Venezuela: Relationships between nitrogen, phosphorus and phytoplankton biomass. *Oecologia Australis*, 15(3): 458-475.
- González, E.J. y Matos, M.L. (2012). Manejo de los Recursos Hídricos en Venezuela. Aspectos Generales. En: B. Jiménez-Cisneros y J.G. Tundisi (Eds.). ISBN: 978-607-9217-04-4. *Diagnóstico del agua en las Américas*. México, Red Interamericana de Academias de Ciencias-Programa de Aguas, Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC. pp. 437-447.
- González, E.J.; López, D. y Rodríguez, L. (2013). Características físicas y químicas del embalse Camatagua (Edo. Aragua). Libro de resúmenes del 2° Congreso Venezolano de Ciencia, Tecnología e Innovación. Tomo 2. Caracas: 177-178.
- González, E.J.; Peñaherrera, C., López, D. y Rodríguez, L. (2014). Aspectos limnológicos de los embalses Suata y Camatagua (Edo. Aragua). Memorias del Instituto de Biología Experimental, 7. (En prensa).
- González Landazábal, A. (2001). Agua para el siglo XXI para América del Sur. De la visión a la acción. Informe Venezuela. Editorial Tiempo Nuevo. Asociación Mundial del Agua (GPW), Comité Asesor Técnico para Sudamérica (SAMTAC). División de Recursos Naturales e Infraestructura, CEPAL. Santiago, 69 pp.
- Grases, J. (2006). *Ingeniería forense y estudios de sitio. Guía para la preservación de gestión de riesgos*. Caracas, Banesco Seguros.
- Hamilton, S. y Lewis, W. (1990). Physical characteristics of the fringing floodplains of the Orinoco River, Venezuela. *Interciencia*, 15(6):491-500.
- Hem, J.D. (1985). *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*. Alexandria, U.S. Geological Survey. 363 pp.
- Hendry, M.J. y Schwartz, F.W. (1990). The geochemical evolution of groundwater in the Milk River Aquifer, Canada. *Ground-Water*, 28(2): 253-261.
- Hidalgo, M.C. y Cruz-Sanjulián, J. (2001). Groundwater composition, hydrochemical evolution and mass transfer in a regional detrital aquifer (Baza basin, Southern Spain). *Applied Geochemistry*, 16: 745-758.
- HIDROCAPITAL (2002). Un esfuerzo que fluye con la gente. Caracas, Veta Producciones C.A.
- HIDROCAPITAL (2009). Plan Especial de Abastecimiento para Caracas. En: www.hidrocapital.com.ve. Consultado en línea el 2 de noviembre de 2009.
- HIDROVEN (2008). Indicadores de gestión del año 2008. En: www.hidroven.gob.ve. Consultado en línea el 10 de noviembre de 2010.
- Infante, A.; Infante, O.; Vegas, T. y Riehl, W. (1992). Proyecto Multinacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales. I. Embalses Camatagua, Guanapito y Lagartijo. Universidad Central de Venezuela y Organización de los Estados Americanos. Caracas, 63 pp.
- Instituto Metropolitano de Urbanismo Taller Caracas (IMUTC) (2012). Avances del Plan Estratégico Caracas Metropolitana 2020. Caracas, Alcaldía Metropolitana de Caracas. 236 pp.
- Instituto Nacional de Estadística (INE) (2013). Censo 2011. En: www.ine.gob.ve. Consultado en línea el 28 de enero de 2013.
- Instituto Nacional de Estadística (INE) (2013). XIV Censo Nacional de Población y Vivienda. Resultados por Entidad Federal y Municipios. En: http://www.ine.gob.ve/index.php?option=com_content&view=category&id=95&Itemid=26. Consultado en línea el 14 de marzo 2014.
- Jouravlev, A. (2004). *Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del Siglo XXI*. Serie Recursos Naturales e Infraestructura N° 74. Naciones Unidas. CEPAL, Santiago de Chile, 70 pp.
- Kantak, P. (2001). Sediment thickness, an East-West cross section, shallow seismic velocities, and micro tremor measurements in the Caracas Valley. FUNVISIS.
- Lewis, W.; Weibezahn, F.; Saunders, J. y Hamilton, S. (1990). The Orinoco River as ecological system. *Interciencia*, 15(6): 346-357.
- López, J.L. (2005). Estrategias de mitigación y control de inundaciones y aludes torrenciales en el Esta-

- do Vargas y en el Valle de Caracas: situación actual y perspectivas futuras. *Revista de la Facultad de Ingeniería UCV*, 20(4): 61-73.
- Machado-Allison, A. (1990). Ecología de los peces de las áreas inundables de los Llanos de Venezuela. *Interciencia*, 15(6): 411-423.
- Machado-Allison, A. (1994). Factors affecting fish communities in the flooded plains of Venezuela. *Acta Biologica Venezuelica*, 15(2): 59-75.
- Machado-Allison, A. (1999). Cursos de Agua, Fronteras y Conservación. En: *Desarrollo Sustentable y Fronteras*. Comisión de Estudios Interdisciplinarios. Caracas, Universidad Central de Venezuela, pp. 61-84.
- Machado-Allison, A. (2005). *Los peces del llano de Venezuela: un ensayo sobre su Historia Natural*. (3ra. Edición). Caracas, Consejo Desarrollo Científico y Humanístico (UCV), Editorial Torino, 222 pp.
- Machado-Allison, A.; Rial, A. y Lasso, C. (2011). Amenazas e impactos sobre la biodiversidad y los ecosistemas acuáticos de la Orinoquia venezolana. En: *Biodiversidad de la Cuenca del Orinoco*. II. Áreas Prioritarias para la Conservación y Uso Sostenible (Lasso, Rial, Matallana, Señaris, Díaz-Pulido, Corzo y Machado-Allison, Eds.) Bogotá, Colombia, Instituto A. von Humboldt. pp. 63-88.
- Magrinho, A., Didelet, F. y Semiao, V. (2006). Municipal solid waste disposal in Portugal. *Water Management*, 26 : 1477-1489.
- Marichal, F. (2011). Determinación de factores de riesgo para la transmisión de dengue en zonas altas mediante análisis geoespaciales. Estado Mérida, Venezuela, 2001-2009. Trabajo Especial de Grado. Caracas, Universidad Central de Venezuela. 81 pp.
- Marrero, C. (2000). Importancia de los humedales del bajo llano de Venezuela, como hábitat de las larvas y los juveniles de los peces comerciales de la región. Trabajo de Ascenso a la categoría de Asociado. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Ezequiel Zamora. Guanare, 80 pp.
- Martelo, M.T. (2004). Consecuencias ambientales generales del cambio climático en Venezuela. Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela. Proyecto MARN – PNUD VEN/00/G31. Caracas.
- Martínez, R. (2012). Las Redes de Infraestructura Hidráulica y su Incidencia en el Desarrollo Urbano. Monografía presentada como requisito para optar al grado académico de Doctor en Arquitectura. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Caracas, Universidad Central de Venezuela.
- Martínez, R. (2013). *La gestión del agua potable y el saneamiento en el Área Metropolitana de Caracas*. Instituto Latinoamericano de Investigaciones Sociales (ILDIS). Caracas, Oficina en Venezuela de la Fundación Friedrich Ebert. 23 pp.
- Martínez, R.; Fernández, M.; Ortega, F. y Schaper, A. (2013). Urban Sustainability Assessment of the Caracas Metropolitan Region. Technical Workshop of Sustainable Cities in Latin America and the Caribbean. Banco Interamericano de Desarrollo. Mimeo. Washington, D.C.
- Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MINAMB) (2006). Proyecto Cuenca del Lago de Valencia. En: www.minamb.gob.ve/index.php?option=com_content&view=article&id=24:proyecto-cuenca-lago-de-valencia&catid=8:equipamiento-ambiental&Itemid=38. Consultado en línea el 4 de marzo de 2014.
- Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MINAMB) (2012a). El proceso de potabilización de las aguas en Venezuela se rige según la normativa establecida por la Organización Mundial de la Salud. En: www.minamb.gob.ve. Consultado en línea el 1° de marzo de 2014.
- Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MINAMB) (2012b). Proyecto de Saneamiento del Río Guaire. Resumen. En: www.minamb.gob.ve. Consultado en línea el 31 de enero de 2013.
- Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MINAMB). Sistema de Indicadores y Estadísticas Nacionales para la Gestión del Ambiente. SIENAGA. En: <http://www.minamb.gob.ve/files/planificacion-y-presupuesto/IndicadoresAmbientales.htm>. Consultado en línea el 17 de marzo de 2013.
- Ministerio del Poder Popular para la Salud (MPPS) (2008). *Boletín Epidemiológico*. Volumen 57, N° 53. Caracas, 22 pp.
- Ministerio del Poder Popular para la Salud (MPPS) (2009). *Boletín Epidemiológico*. Volumen 58, N° 52. Caracas, 23 pp.
- Ministerio del Poder Popular para la Salud (MPPS) (2010). *Boletín Epidemiológico*. Volumen 59, N° 52. Caracas, 26 pp.

- Ministerio del Poder Popular para la Salud (MPPS) (2011). *Boletín Epidemiológico*. Volumen 60, N° 52. Caracas, 27 pp.
- Ministerio del Poder Popular para la Salud (MPPS) (2012). *Boletín Epidemiológico*. Volumen 61, N° 52. Caracas, 26 pp.
- Ministerio del Poder Popular para la Salud (MPPS) (2013). *Boletín Epidemiológico*. Volumen 62, N° 52. Caracas, 30 pp.
- Navarro, E.; Ostos, M. y Yoris, F. (1988). Revisión y redefinición de unidades litoestratigráficas y síntesis de un modelo tectónico para la evolución de la parte Norte - Central de Venezuela durante el Jurásico Medio - Paleógeno. *Acta Científica Venezolana*, 39: 427-436.
- Ochoa-Iturbe, J. (2011). Solids in urban drainage. *Negotium*, 18(7): 37-45.
- ONU-Hábitat. Oficina Regional para América Latina y El Caribe. En: http://www.onuhabitat.org/index.php?option=com_content&view=frontpage&Itemid=1. Consultado el 14 de marzo 2014.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). En: www.minamb.gov.ve. Consultado en línea el 2 de marzo de 2014.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2013). Salud Ambiental. En: http://www.who.int/topics/environmental_health/es/. Consultado en línea el 15 de marzo 2014.
- Organización Mundial de la Salud, Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (OMS-UNICEF). Programa Conjunto de Monitoreo para el Abastecimiento de Agua y Saneamiento. En: <http://www.wssinfo.org/introduction/>. Consultado en línea el 15 de marzo 2014.
- Páez-Pumar, E. (2010). Saneamiento y disposición de aguas residuales en Caracas. *Boletín de la Asociación Integral de Políticas Públicas*. En: <http://www.aipop.org/site/modules/news/article.php?storyid=32>. Consultado en línea el 1° de marzo de 2014.
- Pérez Lecuna, R. (2005). El Río Guaire, su canalización a su paso por la ciudad de Caracas. *Boletín de la Academia de Ingeniería y Hábitat*, N° 11: 32-55.
- Petts, G.E. (1985). *Impounded Rivers*. New York, J.S. Wiley and Sons. 344 pp.
- Petts, G.E. (1990a). Regulation of Large Rivers: Problems and Possibilities for Environmentally Sound River Development in South America. *Interciencia*, 15(6): 388-395.
- Petts, G. E. (1990b). The role of ecotones in aquatic landscape management. En: *The roles of ecotones in aquatic landscapes*. London, Parthenon Press. pp. 227-261.
- Pineda, C. (2006). Agua contra la pobreza. *Ambiente*, 27(72): 42-46.
- Rajmohan, N. y Elango, L. (2004). Identification and evolution of hydrogeochemical processes in the groundwater environment in an area of the Palar and Cheyyar River Basins, Southern India. *Environmental Geology*, 46: 47-61.
- Rangel, M. (1979). La construcción de embalses y su impacto ambiental sobre las pesquerías. D.G.I. / M.E./ T 04. MARNR.
- Rao, N.S. (2006). Seasonal variation of groundwater quality in a part of Guntur District, Andhra Pradesh, India. *Environmental Geology*, 49: 413-429.
- Reynolds, K.A. (2002). *Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica. Identificación del problema*. Universidad Técnica de Manabí. Facultad de Ciencias Veterinarias/Carrera de Ingeniería en Acuicultura y Pesquerías/Acuicultura/08/Tratamiento de Aguas Residuales. Agua Latinoamérica.
- Rocabado, V. (2000). Periodos fundamentales de suelos del Valle de Caracas. Caracas, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Geofísica.
- Rodríguez, D.; Delgado Petrocelli, L.; Ramos, S.; Weinberger, V. y Rangel, Y. (2013). A model for the dynamics of malaria in Paria Peninsula, Sucre State, Venezuela. *Ecological Modelling*, 259: 1-9.
- Rojas, E.J. y Serrano, A.A. (2007). Importancia del agua subterránea como fuente de abastecimiento de agua potable en Venezuela. Trabajo de Grado. Universidad de Oriente. Núcleo de Anzoátegui. Puerto La Cruz, 106 pp.
- Rosillo, A. (2001). Proyecto Regional Sistemas Integrados de Tratamiento y Usos de Aguas residuales en América Latina. Realidad y potencial. Estudio general del caso de Maracaibo, Venezuela. Convenio: IDRC-OPS/HEP/CEPIS 2000-2002. Maracaibo, 44 pp.

- Seiler, K. (1996). Groundwater recharge, groundwater exploitation and groundwater protection under the City of Caracas. End-of-Mission Report. Prepared for the International Atomic Energy Agency.
- Singer, A. (1977a). Tectónica reciente, morfogénesis sísmica y riesgo geológico en el graben de Caracas, Venezuela. V Congreso Geológico Venezolano. Caracas: 1860-1901.
- Singer, A. (1977b). Acumulaciones torrenciales holocenas catastróficas, de posible origen sísmico, y movimientos neotectónicos de subsidencia en la parte oriental del Valle de Caracas. *Geos*, 22: 64-65.
- TAHAL (2002). Modelo hidrogeológico del acuífero del Valle de Caracas. Informe de la Compañía TAHAL para HIDROCAPITAL. Caracas.
- Taphorn, D. (1980). Report on the fisheries of the Guanare-Masparro Project. UNELLEZ. Guanare, 60 pp.
- Taphorn, D. y García, J. (1991). El Río Claro y sus Peces con consideraciones de los impactos ambientales de las presas sobre la ictiofauna del Bajo Río Caroní. *Biollania*, 8: 23-45.
- Van der Hoven, S.J.; Solomon, D.K. y Moline, G.R. (2005). Natural spatial and temporal variations in geochemistry in fractured, sedimentary rocks: scales and implications for solute transport. *Applied Geochemistry*, 20: 861-873.
- Veillon, J. (1997). Las deforestaciones en la región de los llanos occidentales de Venezuela (1950-1975). *Revista Forestal Venezolana*, 27: 199-206.
- Villamil, T. (1999). Campanian-Miocene tectonostratigraphy, depocenter evolution and basin development of Colombia and Western Venezuela. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 153: 239-275.
- Water and Sanitation Program (WSP) (2007). Saneamiento para el desarrollo. ¿Cómo estamos en 21 países de América Latina y el Caribe? Conferencia Latinoamericana de Saneamiento - LATINOSAN 2007. Water and Sanitation Program, Banco Mundial, Agencia Suiza para el Desarrollo, UNICEF y Banco Interamericano para el Desarrollo. Ediciones LEDEL S.A.C. Lima, 203 pp.
- Water and Sanitation Program (WSP) (2008). Operadores locales de pequeña escala en América Latina. Su participación en los servicios de agua y saneamiento. Lima, Ediciones LEDEL S.A.C. 73 pp.
- Williamson, C.E.; Saros, J.; Vincent, W. y Smol, J.P. (2009). Lakes and reservoirs as sentinels, integrators, and regulators of climate change. *Limnology and Oceanography*, 54(6 parte 2): 2273-2282.

9. Acrónimos

AMC	Área Metropolitana de Caracas.
CVG	Corporación Venezolana de Guayana.
ENSO	El Niño y Oscilación Sur.
FUNDAMBIENTE	Fundación de Educación Ambiental.
GORBV	Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela.
GORV	Gaceta Oficial de la República de Venezuela
GOSH	Gerencia de Obras Sanitarias e Hidráulicas.
HIDROVEN	Compañía Anónima Hidrológica Venezolana.
IMUTC	Instituto Metropolitano de Urbanismo Taller Caracas.
INE	Instituto Nacional de Estadística.
LOPSAPS	Ley Orgánica para la Prestación de los Servicios de Agua Potable y de Saneamiento.
MINAMB	Ministerio del Poder Popular para el Ambiente.
MPPS	Ministerio del Poder Popular para la Salud.
MTA	Mesas Técnicas del Agua.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
RMC	Región Metropolitana de Caracas.
SIENAGA	Sistema de Indicadores y Estadísticas Nacionales para la Gestión Ambiental.
WSP	Water and Sanitation Program.

Índice de recuadros

Recuadro 1. Visión y manejo Integral del agua	187
Recuadro 2. Proyectos exitosos de recuperación del agua	189
Recuadro 3. Parques ecológicos lineales	196
Recuadro 4. Huella Hídrica	198
Recuadro 5. El Programa de Pago por Servicios Ambientales en Costa Rica	225
Recuadro 6. La gran sequía de California	305
Recuadro 7. Distrito del agua del condado de Orange, California	311
Recuadro 8. Captación del agua de lluvia como una solución urbana de agua en Grenada	336
Recuadro 9. Resiliencia y adaptación a eventos climáticos extremos: El caso de las inundaciones en el Área Metropolitana de Monterrey	423
Recuadro 10. Cuenca estratégica del Río Santa Lucia, principal fuente de agua potable de Uruguay	551
Recuadro 11. Plan maestro de saneamiento y drenaje urbano de Montevideo	554
Recuadro 12. Sistema de alerta temprana para la ciudad de Durazno	563
Recuadro 13. El derecho humano al agua en Uruguay	566
Recuadro 14. Agua potable y saneamiento para la ciudad de Caracas	582
Recuadro 15. Las Mesas Técnicas de Agua. Participación de la comunidad en la gestión del suministro de agua potable y saneamiento	588
Recuadro 16. Los lagos y embalses como centinelas del cambio climático	602
Recuadro 17. Limnología y gestión de recursos hídricos	608
Recuadro 18. Factores productores de cambios en el ciclo del agua y su efecto sobre la biodiversidad en la cuenca del Río Orinoco y cuencas vecinas	610

Semblanzas

Argentina

Raúl Antonio Lopardo (Coordinador del capítulo)

Ingeniero Hidráulico e Ingeniero Civil (Universidad Nacional de La Plata, Argentina). Doctor de la Universidad de Toulouse (Francia) Mención Ciencias Físicas. Presidente del Instituto Nacional del Agua, Profesor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata, Miembro Titular de las Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, de la Academia Nacional de Ingeniería y de la Academia de Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires. Punto Focal Nacional del Programa de Aguas de la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS). **Email:** rlopardo@ina.gob.ar

Jorge Daniel Bacchiega

Ingeniero Hidráulico e Ingeniero Civil (Universidad Nacional de La Plata, Argentina), Jefe del Programa de Estructuras Hidráulicas del Laboratorio de Hidráulica del Instituto Nacional del Agua, Profesor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata y de la Universidad de Buenos Aires, Consultor Independiente en Ingeniería Hidráulica, Miembro Titular de la Academia de Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires. **Email:** dbacchiega@gmail.com

Luis E. Higa

Ingeniero Químico (Universidad Tecnológica Nacional, Argentina). Director del Centro de Tecnología del Uso del Agua del Instituto Nacional del Agua, Profesor en la Carrera de Especialización en Higiene y Seguridad en el Trabajo (Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires), de la Carrera de Especialización y Maestría en Ingeniería Ambiental (Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo) y de la Carrera de Especialización en Gestión de Empresas de Agua y Saneamiento (Universidad Nacional de Tres de Febrero). **Email:** ctua@ina.gob.ar

Bolivia

Fernando Urquidi-Barrau (Coordinador del capítulo)

Geológica. Máster en Administración de Empresas Industriales. Máster en Seguridad, Defensa y Desarrollo. Doctor en Geoquímica Aplicada. Académico Miembro de Numero de la Academia Nacional de Ciencias de Bolivia. Punto Nacional Focal del Programa Aguas de la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS). **Email:** erurquidi@gmail.com

Brasil

José Galizia Tundisi (Coordinador del Capítulo)

Presidente del Instituto Internacional de Ecología, punto focal de Brasil en la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS), Programa de Agua. Es profesor emérito de Ciencias Ambientales de la Universidad de São Paulo, São Carlos. Con especialización en limnología de reservas acuíferas y ecología de aguas continentales, manejo de cuencas, gestión de recursos hídricos y planificación ambiental. Se desempeñó durante 20 años como miembro del Comité Científico de la Fundación del Comité Internacional de Ambientes de Lagos (ILEC, por sus siglas en inglés), en Japón y fue Presidente del Consejo Nacional de Investigación de Brasil (1995-1999). También se desempeñó como Presidente del Consejo Asesor Internacional de los Institutos Milenio del Programa Iniciativa Científica Milenio del gobierno de Brasil. **Email:** tundisi@iie.com.br

Marcos Cortesão Barnsley Scheuenstuhl

Es Director de Programas de la Academia Brasileña de Ciencias, en donde se encarga de la coordinación de varios programas y grupos de trabajo. Su licenciatura y estudios de postgrado en Economía e Impacto de las Políticas Públicas en la Educación Superior en Brasil lo han llevado a dedicar la mayor parte de su tiempo a la creación de la capacidad institucional y redes de ciencia y tecnología. **Email:** mcbs@abc.org.br

Carlos Eduardo Morelli Tucci

Es Ingeniero Civil (1971). Obtuvo su Maestría en Ciencias en Recursos Hídricos (1975) en la Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) de Brasil y su Doctorado en Ingeniería de Recursos Hídricos en la Universidad Estatal de Colorado, EE.UU. (1978). Fue catedrático en el Instituto de Investigaciones Hidráulicas, UFRGS (1972-2003); Coordinador de Actividades de Investigación en Gestión del Agua Urbana y Modelado; y Jefe del Programa de Postgrado en Recursos Hídricos (1993-1997). El Dr. Tucci ha prestado sus servicios en las siguientes áreas: Hidrología e Hidráulica, simulación de sistemas de recursos hídricos, gestión del agua urbana, gestión de recursos hídricos, variabilidad del clima, y predicción de flujos y evaluación del Entorno Integrado. El Dr. Tucci también se ha desempeñado como Consultor a nivel mundial de diversos temas en un gran número de organizaciones y empresas nacionales e internacionales como el PNUD, la UNESCO, la OMM y el Banco Mundial. **Email:** rhamaca@gmail.com

Fernando Rosado Spilki

Es Licenciado en Medicina Veterinaria (Doctor en Medicina Veterinaria, 2001) y Maestría en Ciencias Veterinarias (2004) de la Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil. Obtuvo su Doctorado en Genética y Biología Molecular en la Universidad Estatal de Campinas (2006), Brasil. Actualmente, el Dr. Spilki se desempeña como Profesor en la Universidad de Feevale, Novo Hamburgo, Brasil y su principal línea de investigación es la detección y caracterización de virus entéricos humanos y de animales domésticos en las muestras de agua. **Email:** fernandors@feevale.br

Ivanildo Hespanhol

Es Profesor Titular de la Escuela Politécnica de la Universidad de São Paulo. Es Ingeniero Civil y Sanitario. Obtuvo su Doctorado en Salud Pública en la Universidad de São Paulo (USP), y realizó estudios de Maestría y Doctorado en Ingeniería Ambiental en la Universidad de California en Berkeley, EE.UU. Se incorporó a la OMS como Miembro Científico en 1987, en donde cooperó en la Unidad de Salud Ambiental Urbana de la División de Salud Ambiental, de Ginebra, Suiza, hasta 1995, prestando sus servicios en la elaboración de recomendaciones para la reutilización del agua, y como Coordinador del Programa PNUMA/OMS GEMS/AGUA. Actualmente es Asesor temporal de la OMS, la OPS, la Agencia Nacional de Aguas (ANA) y otras organizaciones públicas y privadas de Brasil y Sudamérica. También es asesor de la Fundación de Apoyo a la Investigación Científica del Estado de São Paulo (FAPESP); CAPES; FINEP y CNPq, dependiendo estos últimos dos, del Ministerio de Ciencia y Tecnología. **Email:** ivanhes@usp.br

José Almir Cirilo

Obtuvo su licenciatura en Ingeniería Civil en la Universidad Federal de Pernambuco. También realizó estudios de Maestría y Doctorado en Ingeniería Civil en la Universidad Federal de Río de Janeiro. Actualmente se desempeña como Profesor Titular en la Universidad Federal de Pernambuco. También ocupa el cargo de Secretario Ejecutivo de Recursos Hídricos de la Secretaría de Desarrollo Económico de Pernambuco. Asimismo, ocupó los cargos de Director de Recursos Hídricos y Director Adjunto de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Pernambuco. [Email: almir.cirilo@gmail.com](mailto:almir.cirilo@gmail.com)

Natalia Andricioli Periotto

Es Licenciada en Biología (2004), y también cuenta con una Maestría en Ecología y Recursos Naturales de la Universidad Federal de São Carlos (2011). Actualmente es becario doctoral en la Universidad de São Carlos y se encuentra realizando una investigación sobre la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos de una cuenca hidrográfica de Brasil mediante la aplicación del concepto de la eco-exergía como herramienta de evaluación. [Email: nataliaperiotto@gmail.com](mailto:nataliaperiotto@gmail.com)

Canadá

Banu Örmeci (Coordinador de Capítulo)

La profesora Banu Örmeci terminó su Maestría y Doctorado en Ingeniería Civil y Ambiental en la Universidad de Duke (Carolina del Norte, EE.UU.). Es profesora titular de la Cátedra de Investigación en Ingeniería de Tratamiento de Aguas Residuales del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de Carleton (Ottawa, Canadá), y ha sido galardonada con numerosos premios por sus trabajos de investigación, enseñanza y tutoría. [Email:Ormecib@carleton.ca](mailto:Ormecib@carleton.ca)

Michael D'Andrea (Chapter Coordinator)

Es el Director Ejecutivo de los Servicios de Ingeniería y Construcción de la Ciudad de Toronto, en donde se encuentra a cargo de una oficina con personal técnico-profesional compuesta por aproximadamente 540 personas, y es responsable del diseño de ingeniería y construcción de la infraestructura de agua, aguas residuales y pluviales, transporte y residuos sólidos de la ciudad de Toronto. Anteriormente, Michael se desempeñó como Director de Gestión de Infraestructuras de Toronto Water, donde fue responsable de la gestión de activos, la planificación de infraestructuras, programación de capital y desarrollo de políticas de apoyo para los servicios de infraestructura de gestión del agua, aguas residuales y pluviales. Michael obtuvo su Maestría en Ingeniería Civil en la Universidad de Western. Antes de prestar sus servicios a la ciudad de Toronto en 1997, se desempeñó como Consultor de ingeniería y también colaboró con el Ministerio del Medio Ambiente de Ontario. [Email: mdandre@toronto.ca](mailto:mdandre@toronto.ca)

Chile

James McPhee (Coordinador del capítulo)

Ingeniero Civil de la Universidad de Chile, y PhD. en Ingeniería de Recursos Hídricos de la University of California, Los Angeles (UCLA). Profesor Asociado del Departamento de Ingeniería Civil e Investigador Asociado del Centro Avanzado de Tecnología para la Minería (AMTC), de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. [Email: jmcphee@ing.uchile.cl](mailto:jmcphee@ing.uchile.cl)

Jorge Gironás

Ingeniero Civil y Magíster en Ciencias de la Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile, y PhD (Colorado State University, EE.UU.). Profesor Asociado, Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile. Investigador Asociado del Centro FONDAPE de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS) y Centro FONDAPE de Investigación para la Gestión Integrada de Desastres Naturales (CIGIDEN). [Email: jgironas@ing.puc.cl](mailto:jgironas@ing.puc.cl)

Bonifacio Fernández

Ingeniero Civil de la Pontificia Universidad Católica de Chile, PhD. en Ingeniería de Colorado State University. Profesor Titular, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental de la Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile. [Email: bfernand@ing.puc.cl](mailto:bfernand@ing.puc.cl)

Pablo Pastén

Ingeniero Civil (Pontificia Universidad Católica de Chile). Ph.D, Ingeniería Ambiental (Northwestern University. Evanston, IL, EE.UU). Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Pontificia Universidad Católica de Chile. Investigador Principal. [Email: ppasten@ing.puc.cl](mailto:ppasten@ing.puc.cl)

José Vargas

Ingeniero Civil (Universidad de Concepción). Doctor en Ciencias Ambientales, (Universidad de Concepción). Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Civil Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción. Investigador Asociado del CRHIAM (Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería), Coordinador Nacional del Programa IFI (Iniciativa Internacional de avenidas) de PHI-UNESCO, Presidente de SOCHID (Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica), Vicepresidente del Consejo Latinoamericano de International Association of Hydro-Environment Engineering and Research (IAHR). [Email: jvargas@udec.cl](mailto:jvargas@udec.cl)

Alejandra Vega

Ingeniero Civil (Pontificia Universidad Católica de Chile). Candidata a doctor en Ciencias de la Ingeniería Mención Ambiental (Pontificia Universidad Católica de Chile). Ingeniero Centro de Desarrollo Urbano. [Email: asvega@ing.puc.cl](mailto:asvega@ing.puc.cl)

Sebastián Vicuña

Ingeniero Civil (Pontificia Universidad Católica de Chile), PhD. en Ingeniería Civil y Ambiental y MSc. en Políticas Públicas de la University of California, Berkeley. Director Ejecutivo del Centro de Cambio Global UC. Coordinador Nacional del Estudio Regional de la Economía del cambio Climático Chile. Consultor experto de la UNFCCC en estudios de vulnerabilidad y adaptación con énfasis en recursos. [Email: svicuna@uc.cl](mailto:svicuna@uc.cl)

Colombia

Gabriel Roldán (Coordinador del capítulo)

Licenciado en Biología y Química de la Universidad de Antioquia (Medellín, Colombia), Master of Science de Kansas State Teachers College (Emporia, Kansas, U.S.A.) y Doctor en Ciencias de la Universidad of Kassel (Alemania). Actualmente se desempeña como Miembro Correspondiente y Director de Publicaciones de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, además es el Director del Grupo de Investigación de Limnología y Recursos Hídricos de la Universidad Católica de Oriente (Rionegro, Antioquia, Colombia). [Email: grolدان@une.net.co](mailto:grolدان@une.net.co)

Claudia Patricia Campuzano Ochoa (Coordinadora del capítulo)

Ingeniera Civil y Magíster en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Actualmente se desempeña como Directora de la línea de agua y medio ambiente y coordinadora del Convenio Interinstitucional Cátedra del Agua en la Corporación Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia. Dentro de las actividades en que se desempeña, se encuentra la gestión y articulación de actores en torno a la construcción colectiva de pensamiento estratégico, investigación y desarrollo tecnológico en torno al tema del agua y medio ambiente; la construcción de lineamientos de política; la planifica-

ción ambiental; la ordenación de cuencas hidrográficas; la gestión integral del recurso hídrico, la educación y cultura ambiental, la gestión integral de la sociedad, el ambiente y el territorio; la articulación de esfuerzos con otras entidades en el desarrollo conjunto de proyectos dentro de los cuales ha realizado la Gerencia Estratégica o Coordinación General de más de 30 proyectos. Docente del módulo de gestión integral del recurso hídrico en la especialización de construcción sostenible del Colegio Mayor de Antioquia.

Email: ccampuzano@cta.org.co

Luis Javier Montoya Jaramillo

Ingeniera Civil, Magíster en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos y Doctor en Ingeniería – Recursos Hidráulicos de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Actualmente es Profesor Asociado de la Facultad de Ingenierías en el programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Medellín.

Email: ljmontoya@udem.edu.co

Carlos Daniel Ruiz Carrascal

Ingeniero Civil y Magister en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Master en Filosofía de Ciencias Ambientales y Master en Artes de Clima y Sociedad de la Universidad de Columbia (Estados Unidos), Doctorado en Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente de la Universidad de Columbia (Estados Unidos). Es docente investigador y profesor asociado del Programa en Ingeniería Ambiental de la Escuela de Ingeniería de Antioquia (Colombia) e investigador científico adjunto del Instituto Internacional de Investigación de Clima y Sociedad de la Universidad de Columbia en la Ciudad de Nueva York (Estados Unidos). Es el investigador principal en el área hidroclimatología del grupo 'Investigación en Gestión Ambiental-IGEA' de la Escuela de Ingeniería de Antioquia. Sus áreas de experticia incluyen hidrología, climatología, recursos hidráulicos y salud ambiental. Sus intereses de investigación se concentran en torno a cambio ambiental, variabilidad climática y cambio climático, e impactos en ecosistemas de alta montaña y salud humana. Lidera actualmente el proyecto 'Impactos del cambio climático en la biodiversidad de los Andes tropicales: riesgo climático, vulnerabilidad y herramientas de toma de decisiones para la conservación de la biodiversidad y la planificación del uso del suelo', administrado por el Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) y patrocinado por la Mac-Arthur Foundation.

Andrés Torres

Ingeniero Civil y Especialista en Sistemas Gerenciales de Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá. MSc en Ingeniería Civil y PhD en Hidrología Urbana de la Universidad de Lyon - INSA Lyon, Francia. Profesor Asociado de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá, miembro del grupo de investigación Ciencia e Ingeniería del Agua y el Ambiente. Sus actividades docentes se enfocan principalmente en la carrera de Ingeniería Civil, la Maestría en Hidrosistemas y el Doctorado en Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana. Se desempeña como investigador en temas de hidrología urbana, en especial en temas relacionados con Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, metrología de calidad de aguas y gestión patrimonial de alcantarillados. **Email:** andres.torres@javeriana.edu.co

Jaime Andrés Lara-Borrero

Ingeniero Civil (Pontificia Universidad Javeriana). Magíster en Ingeniería y Gestión Ambiental (Universidad Politécnica de Cataluña). Doctor en Ingeniería de caminos, canales y puertos, énfasis ingeniería sanitaria y ambiental (Universidad Politécnica de Madrid). Profesor Asociado, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana. Director de la Maestría en Hidrosistemas, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana. Director del Instituto de Biología Experimental. Miembro del grupo de investigación Ciencia e Ingeniería del Agua y el Ambiente, Pontificia Universidad Javeriana. **Email:** laraj@javeriana.edu.co

Sandra Lorena Galarza Molina

Ingeniera Civil (2005) y MSc en Hidrosistemas (2011) de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. A finales del 2011 inicia sus estudios de Doctorado en la misma universidad adelantando investigaciones relacionadas con la evaluación ambiental de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) utilizados como elementos para el aprovechamiento de aguas lluvias en una cuenca piloto. **Email:** sgalarza@javeriana.edu.co o salogamo@gmail.com

Juan Diego Giraldo Osorio

Profesor Asistente de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá. Ingeniero Civil la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, MSc en Ingeniería Civil con énfasis en gestión de recursos hídricos de la Universidad de los Andes y PhD gestión de recursos hídricos de la Universidad Politécnica de Cartagena (España). Actualmente es director del grupo de investigación “Ciencia e Ingeniería del Agua y el Ambiente”. Su interés investigativo está enfocado hacia temas de cambio climático y adaptación, asimilación de datos de teledetección en modelación, e hidrología. **Email:** j.giraldoo@javeriana.edu.co

Milton Duarte

Ingeniero Sanitario (2004) de la Universidad del Valle. En el año 2011 ingresa a la Maestría en Hidrosistemas de la Pontificia Universidad Javeriana. Se ha desempeñado como ingeniero consultor con firmas como INGES-AM LTDA, Estudios Técnicos S.A.S, DESSAU CEI, CDM SMITH. Desde el año 2012 pertenece al grupo de investigación Ciencia e Ingeniería del Agua y el Ambiente

Sandra Méndez-Fajardo

Ingeniera Civil (Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia). Magíster en Ingeniería Civil con énfasis ambiental (Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia). Profesora Asistente, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. Estudiante Doctorado en Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. **Email:** sandra.mendez@javeriana.edu.co

Costa Rica

Hugo G. Hidalgo (Coordinador del capítulo)

Profesor e investigador en hidrología de aguas superficiales, con especial interés en la hidroclimatología. El Dr. Hidalgo obtuvo la Licenciatura en Ingeniería Civil en la Universidad de Costa Rica (1992), y una Maestría en Ciencias (1998) y Ph.D. (2001) en Ingeniería Civil y Ambiental con especialidad en Recursos Hídricos de la Universidad de California, Los Angeles. El Dr. Hidalgo actualmente es profesor de la Escuela de Física de la Universidad de Costa Rica. Es coordinador de la Maestría Académica en Hidrología, Punto Focal del Programa de Aguas de la Red Interamericana de Academias de Ciencias y Subdirector del Centro de Investigaciones Geofísicas de la Universidad de Costa Rica. Es autor de más de 30 publicaciones diversas y ha participado en más de 100 conferencias, seminarios y talleres. **Email:** hugo.hidalgo@ucr.ac.cr

Ángel G. Muñoz

Investigador en Ciencias del Clima en el International Research Institute for Climate and Society (IRI) de Columbia University, y estudiante de doctorado en el Departamento de la Tierra y el Medioambiente en esa universidad. Después de graduarse en la Universidad del Zulia con una licenciatura en física, Muñoz recibió una Maestría en Ciencias de la Tierra y el Medioambiente en Columbia. Sus investigaciones se centran en los fenómenos extremos del clima en Latinoamérica, dinámica de la atmósfera, modelos climáticos y servicios climáticos en América Latina. Fue profesor asociado en el Departamento de Física de la Universidad del Zulia, y coordinador del Área de Geociencias en el Centro de Modelación Científico en Venezuela.

Email: ude.aibmuloc.iri@zonumga

Carolina Herrero

Licenciada en Ingeniería Civil (Universidad Isaac Newton). Cursando actualmente maestría en Hidrología en la Universidad de Costa Rica. Profesionalmente se ha especializado en obras de infraestructura desde su primer trabajo en la empresa constructora Urbasco, posteriormente labora en la empresa Franz Sauter y Asociados como diseñadora de obras exteriores. Se independiza y establece su empresa Ph-C Ingenieros Consultores, la cual realiza diseños e inspecciones de proyectos de infraestructura que incluyen estudios hidrológicos, tanque de retención pluvial, etc.

Eric J. Alfaro

Bachiller y Licenciado en Meteorología de la Universidad de Costa Rica y Doctor en Oceanografía de la Universidad de Concepción, Chile. Trabajó como Meteorólogo en el Instituto Meteorológico Nacional. Actualmente, es profesor catedrático en la Escuela de Física de la Universidad de Costa Rica, donde ha desempeñado cargos docentes desde 1989, es miembro de la Comisión de Posgrado en Ciencias de la Atmósfera y miembro de la Comisión de Posgrado en Gestión Integrada de Áreas Costeras Tropicales, ambos del Sistema de Estudios de Posgrado, Universidad de Costa Rica. También se desempeña como Investigador del Centro de Investigaciones Geofísicas, 1992 al presente del cuál actualmente es el Director y como investigador del Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad de Costa Rica, 2000 al presente.

Email: erick.alfaro@ucr.ac.cr

Natalie Mora

Estudiante en la carrera de Meteorología en la Escuela de Física de la Universidad de Costa Rica, ha colaborado como asistente en diversos proyectos de investigación del Centro de Investigaciones Geofísicas de la Universidad de Costa Rica. **Email:** natali.mora@ucr.ac.cr

Víctor H. Chacón

Analista de Sistemas, (División de Informática), Analista de Soporte (Auditoría del AyA), Capacitador e Instructor del (AyA - Comité Técnico Regional de Participación Comunitaria, Educación Sanitaria e Higiene Personal - CAPRE, Analista de Sistemas en Cuencas Hidrográficas - CARE , Proceso Acueductos Rurales - Promotor Asesoría Técnica Administrativa - WKF, Director de Ambiente Municipalidad de Pérez Zeledón, Área de Planificación de la C.N.E., Coordinador Nacional en la CONIFOR del AyA, Especialista Sistemas Comunales en Desastres, Especialista en Sistemas Comunales en Social-Ambiental.

Darner A. Mora

Funcionario del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados desde 1977, y Director del Laboratorio Nacional de Aguas desde 1989. Dio sus primeros pasos de vida educativa en la Escuela República de Nicaragua, pasando luego a cursar la secundaria en el Colegio Nuevo de San José, y posteriormente sus estudios superiores de Licenciatura en Microbiología y Química Clínica y Maestría Salud Pública en la Universidad de Costa Rica. Ha publicado tres libros, alrededor de 150 artículos de opinión en diferentes periódicos nacionales, y más de 100 trabajos de investigación en los temas de agua, ambiente y salud, lo que le acredita en el medio como toda una autoridad en estos temas medulares de la salud pública costarricense.

Mary L. Moreno (Recuadro sobre Servicios ambientales)

Master en Economía de Recursos Naturales y del Medio Ambiente de la Universidad de Concepción (Chile). Investigadora en las áreas de valoración económica de recursos naturales y evaluación de políticas ambientales en el Centro Internacional de Política Económica para el Desarrollo Sostenible (CINPE) de la Universidad Nacional, Costa Rica. Algunos de los temas específicos de trabajo son las Áreas Silvestres Protegidas, Áreas Forestales Privadas y Zonas Costeras. Profesora en el mismo Centro de los cursos de Valoración Económica; Economía, Ecológica y Desarrollo Sostenible; y Microeconomía de la maestría en Política Económica con énfasis en Economía Ecológica. **Email:** mary.moreno.diaz@una.cr

Cuba

Daniela Mercedes Arellano (Coordinadora del capítulo)

Ingeniera Geofísica (Instituto Superior José A. Echevarría, La Habana). Doctora en Ciencias Geológicas (Universidad de Carolina, Praga, República Checa). Investigadora Auxiliar. Directora Proyecto PNUD/GEF Sabana Camagüey, Cuba. Agencia de Medio Ambiente, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Punto Focal Nacional del Programa de Aguas de la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS).

Email: marell@ama.cu

María Isabel González González

Licenciada en Ciencias Biológicas, especialidad Microbiología (Universidad de La Habana). Doctor en Ciencias de la Salud (Ministerio de Salud Pública), Investigadora y Profesora Titular, Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología, La Habana, Cuba. Jefa del Laboratorio de Microbiología de Aguas del Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología, La Habana, Cuba.

Leslie F. Molerio-León

Geólogo de Yacimientos Minerales e Hidrogeólogo. Master en Ciencias Mención Hidrología Isotópica. Profesor Visitante, Universidad Nacional Autónoma de México. Profesor Asistente (Posgrado), Facultad de Geología, Universidad de Pinar del Río, Cuba. Auditor Ambiental. Especialista Principal de GRANIK HOLDINGS, Ltd. (República Dominicana). Consultor en Hidrogeología y Gestión de Recursos Hídricos, INVERSIONES GAMMA, S.A. (Cuba). Consultor de GROUPE-CONSEIL BAASTEL (Bélgica-Canadá). Asesor Ambiental de Sherritt International Oil & Gas (Canadá) y Sherritt Power-ENERGAS (Cuba). Asesor del Grupo Nacional de Evaluación de Riesgos de la República de Cuba. Experto Regional del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en Vulnerabilidad y Análisis Cuantitativo de Riesgos para las OCT holandesas y británicas del Caribe (UNDP-Bahamas). Experto en Acuíferos Cárscicos del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP- República Dominicana). **Email:** especialistaprincipal@gmail.com

Eduardo O. Planos Gutiérrez

Licenciado en Geografía (Universidad de la Habana). Master en Hidrología General y Aplicada (Centro de Estudios Hidrográficos, España). Doctor en Ciencias Geográficas (Universidad de la Habana). Investigador Auxiliar, Instituto de Meteorología de Cuba. Profesor Titular Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Aplicadas y de la Facultad de Geografía de la Universidad de la Habana. Presidente del Programa Nacional de Ciencias Cambio Climático en Cuba: Impactos, Mitigación y Adaptación. Investigador Instituto de Meteorología. Coordinador de Estudios de Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático para las Comunicaciones Nacionales. Coordinador del Programa FRIEND del PHI UNESCO para América Latina y el Caribe. Asesor Hidrológico de la Región IV de la OMM para Norteamérica, Centroamérica y el Caribe.

República Dominicana

Rafael Osiris de Leon (Coordinador del capítulo)

Graduado de Ingeniero Geólogo en la Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra, 1979, durante 12 años fue Consejero Científico de la Comisión Nacional para el Medio Ambiente de la República Dominicana, es miembro del Consejo de Directores de la Academia de Ciencias de la Rep. Dom. y ha sido el Coordinador de la Comisión de Ciencias naturales y Medio Ambiente. Entre sus publicaciones impresas se citan: Problemática Ambiental de las Extracciones de Agregados de Ríos en la Rep. Dominicana y Fuentes Alternativas para Can-

terras Secas dentro de un Ordenamiento Territorial (Instituto Geológico y Minero de España); Minería y Medio Ambiente; La Gran Minería y el Ambiente en la Rep. Dominicana; El Ordenamiento Territorial Minero de la Rep. Dominicana (Publicaciones CYTED, 2002); Geología de la Sierra de Bahoruco; Conferencias Geológicas; Aspectos Geológicos e Hidrogeológicos de la Región Suroeste; Diagnóstico de la situación ambiental dominicana; y Agua Potable y Saneamiento en Rep. Dom. (IANAS 2012). **Email:** osirisdeleon@gmail.com

Grenada

Martin St. Clair Forde (Chapter Coordinator)

Martin St Clair Forde es Catedrático de la Universidad de St. George, Grenada, del Departamento de Salud Pública y Medicina Preventiva. Sus principales actividades docentes y de investigación se centran en la salud ambiental, la gestión de ésta, la salud ocupacional, la ergonomía e higiene industrial, y la investigación sobre la salud de la población mundial. El Dr. Forde participa de forma activa en varios Comités Técnicos y Gubernamentales enfocados a temas del medio ambiente y la salud ocupacional. A últimas fechas, el Dr. Forde ha recibido subvenciones del Banco Mundial, la Fundación Panamericana para la Salud y la Educación y el Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo canadiense, dirigidos a la investigación de temas que van desde los sistemas de gestión de residuos biomédicos hasta la determinación de la prevalencia de la exposición humana a los Contaminantes Orgánicos Persistentes, pesticidas y metales pesados como el plomo y el mercurio, en la región del Caribe, así como al análisis de los desafíos y cuestionamientos éticos que enfrentan los investigadores que colaboran en investigaciones sobre temas de salud de la población mundial.

Email: martinforde@mac.com

Brian P. Neff, Ph.D.

Reside en Granada desde 2006, donde se ha venido desempeñando como Académico y Consultor. El Dr. Neff es principalmente un hidrólogo, pero cuenta con experiencia y le apasiona aplicar las ciencias sociales a la solución de los problemas hídricos. Su más reciente investigación se basa en los sistemas complejos y las ciencias políticas y establece la razón de los obstáculos que enfrenta la gestión del agua en Granada, por un estado administrativamente fragmentado. Lo que es más importante, la investigación del Dr. Neff explica por qué los esfuerzos de reforma debidamente financiados han fallado y cómo los esfuerzos futuros pueden superar los obstáculos y lograr el cambio. Sus actuales intereses de investigación incluyen las dimensiones humanas de sostenibilidad y resiliencia de los sistemas socio-ecológicos. Al Dr. Neff le gusta viajar, la pesca en kayak, y escribir sobre sí mismo en tercera persona. **LinkedIn:** [linkedin.com/in/1brianneff](https://www.linkedin.com/in/1brianneff) | **Google Scholar:** tinyurl.com/BNeff-GoogleScholarPage

EL Salvador

Julio C. Quiñonez Basagoitia (Coordinador del capítulo)

Ingeniero Civil (Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, UCA, El Salvador). MsC en Hidrología (CEDEX, España). Post-Grado Modelación Matemática en Hidrología (Universidad Tecnológica de Panamá). Advanced International Programme “Management of Hydro Power Development and Use” (Vattenfall Power Consultant AB, SIDA, Sweden-Peru). Consultor en Hidrología e Hidráulica para diferentes entidades públicas y privadas, nacionales e internacionales. Investigador local adscrito y expositor en congresos internacionales IWRA y miembro de la membresía como profesional en Recursos Hídricos de GWP.

Email: julioquinonezb@gmail.com

Guatemala

Dr. Manuel Basterrechea (Coordinador del capítulo)

Ingeniero Civil con maestría en recursos hidráulicos y doctorado en Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de Iowa, Estados Unidos. Miembro de la Academia de Ciencias Físicas, Médicas y Naturales de Guatemala y miembro de IANAS. De 1990 a la fecha, consultor privado para organizaciones nacionales e internacionales. **Email:** asebaste@gmail.com

Carlos Roberto Cobos

Ingeniero Civil (Universidad de San Carlos de Guatemala) Maestría en Recursos Hidráulicos (Oregon State University) Catedrático de Hidrología, manejo de Cuencas e Hidráulica (Universidad Rafael Landívar, Universidad mariano Gálvez y Universidad del Valle) Subdirector del Centro de Investigaciones de Ingeniería (hasta 2013 Universidad Mariano Gálvez). Consultor (UNICEF, FAO, PNUD, Banco Mundial, WWF) Miembro del Directorio (Red Interamericana de Recursos Hídricos). **Email:** carlos.cobos@maga.gob.gt

Juan Carlos Fuentes

Hidrólogo egresado de la Universidad de San Carlos de Guatemala y de la Universidad de Costa Rica. Se ha desempeñado en entidades como el INSIVUMEH y la Red Centroamericana de Manejo de Recursos Hídricos. Profesor en cursos de física de suelos, estadística aplicada al ambiente, climatología, hidrología, degradación de suelos, cuencas hidrográficas, irrigación y avenamiento, participando como asesor y evaluador en proyectos de tesis de grado a nivel de licenciatura y Maestría. Autor de varias publicaciones en revistas y eventos nacionales e internacionales. Ha recibido reconocimientos y distinciones por su desempeño académico. Actualmente labora en el Instituto Nacional de Electrificación, siendo además profesor de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, USAC.

Norma Edith Gil Rodas de Castillo

Licenciada en Química y Biología Maestra en Ciencias y Tecnología del Medio Ambiente Profesora titular del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura-CEMA Universidad de San Carlos de Guatemala-USAC Miembro de la Comisión Intersectorial del Medio Ambiente-CIMA- del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología –CONCYT Investigadora principal de proyectos de Investigación relacionados con Limnología del Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología-FODECYT Miembro de la Red Mesoamericana de Macroinvertebradólogos-REDMAD-MESO.

Jeanette Herrera de Noack

Abogada y Notaria de la Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con experiencia en tópicos relacionados al Derecho y a la legislación ambiental e hídrica de Guatemala. Es miembro de la Asociación Mundial de abogados ambientalistas, E-LAW. U.S. Enlace Nacional de la Alianza por el Agua en Guatemala y ejerce el secretariado de la Asociación nacional del Agua de la Global, Water Partnership. Es miembro de la Comisión de Derecho Ambiental (CEL) de la Unión Mundial de la Naturaleza, UICN y Directora de la Alianza de Derecho Ambiental y Agua, Guatemala.

Ana Beatriz Suárez

Licenciada en Química Biológica (Universidad de San Carlos de Guatemala). Cursando la maestría en Liderazgo Cristiano (Programas de Maestría en Estudios Teológicos Accesibles –Pro-META), Actualmente, coordinadora de laboratorio, Laboratorio Ecológico y Químico, S.A. Tesorera de la Asociación para el Desarrollo Ambiental Integral –ASODAMI- en Guatemala. Anteriormente, jefe de la División de Control, Calidad Ambiental y Manejo de Lagos de la Autoridad del Lago de Amatitlán, AMSA en Guatemala.

Honduras

Marco Antonio Blair Chávez (Coordinador del capítulo)

Ingeniero Civil (Universidad Nacional Autónoma de Honduras). Maestría en Ingeniería Sanitaria (Universidad Nacional Autónoma de México). MSc Water Resources Management (University of Newcastle upon Tyne, United Kingdom). Catedrático de asignaturas, así: Abastecimiento de Agua e Hidráulica Aplicada en la Universidad Nacional Autónoma de Honduras; Procesos Unitarios (Plantas Potabilizadoras) y Tópicos Avanzados en Ingeniería, en la Universidad Católica de Honduras; Ingeniería Sanitaria 1, Ingeniería Sanitaria II e Hidráulica Aplicada en la Universidad Tecnológica Centroamericana. Consultor en Ciencia y Tecnología. Agua y Saneamiento. Miembro del Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras, Academia de Ciencias de Honduras, y Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria. Punto Nacional Focal del Programa de Aguas de la Academia de Ciencias de Honduras. **Email:** thonyblair@yahoo.co.uk

Manuel Figueroa

El doctor Manuel Figueroa nació en Juticalpa, Honduras el 11 de octubre de 1932. Hizo sus estudios universitarios en el campo de la Química en la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH). Luego siguió sus estudios de post grado en la Universidad de Kentucky, Estados Unidos, recibiendo su doctorado (Ph.D.) en Microbiología en 1967. Ha sido profesor y Jefe del Departamento de Microbiología en la UNAH. El doctor Figueroa ha realizado numerosos trabajos de investigación en el área de las enfermedades infecciosas, incluyendo las transmitidas por el agua. Actualmente es miembro de la Junta Directiva de la Academia Nacional de Ciencias de Honduras. **Email:** manuel_figueroas@yahoo.com

México

María Luisa Torregrosa y Armentia (Coordinadora del capítulo)

Licenciada en Sociología (Universidad Nacional Autónoma de México). Maestría y Doctora en Ciencia Social con especialidad en Sociología (El Colegio de México). Profesora Investigadora de la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Sede México. Coordinadora de la red de Agua de la Academia Mexicana de Ciencias. Punto Nacional Focal del Programa de Agua de la Red Interamericana de Academias de Ciencias.

Email: marialuisatorregrosa@gmail.com

Blanca Jiménez-Cisneros

Ingeniera Ambiental (Universidad Autónoma Metropolitana, México). Doctora en Ingeniería, con especialización en Tratamiento y Acondicionamiento de Agua (Institut National de Sciences Appliquées, Francia). Investigadora Titular, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Coordinadora del Grupo TRATAMIENTO y REUSO. Directora de la División de Ciencias de Agua y Secretaria del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO, Miembro de la Red del Agua de la Academia Mexicana de Ciencias y de la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS). **Email:** b.jimenez-cisneros@unesco.org

Jacinta Palerm

Licenciado en Antropología Social (Universidad Iberoamericana), MC y PhD (Université de Toulouse-le-Mirail). Profesor Investigador Titular, Estudios del Desarrollo Rural, Colegio de Postgraduados, México. Es miembro de la Academia Mexicana de Ciencias. **Email:** jacinta.palerm@gmail.com

Ricardo Sandoval Minero

Ingeniero Civil y Maestro en Ingeniería Económica y Financiera del Agua (Facultad de Ingeniería, UNAM), Maestro en Modelación, Optimización, Decisión y Organización (Universidad Paris Dauphine). Consultor externo del Banco Mundial, BID y otros organismos internacionales y nacionales. Secretario del Consejo de IWA México y miembro del directorio de la Red Interamericana de Recursos Hídricos. Presidente Director de Sex-tante Servicios de Consultoría, S.C. **Email: rsandova@hotmail.com**

Karina Kloster

Socióloga por la Universidad de Buenos Aires (UBA), maestra por la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO- Sede México) y doctora en Ciencias Políticas y Sociales por la Universidad Nacional Autónoma de México. Profesora investigadora en la UACM-Plantel Cuauhtepc y Profesora de Asignatura en la UNAM.

Email: karinakloster@hotmail.com

Poliopro F. Martínez Austria

Ingeniero civil egresado del Instituto Politécnico Nacional, y obtuvo los grados de Maestría y Doctorado en Ingeniería (Hidráulica) en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Actualmente es Director General de Investigación, Posgrado e Internacionalización Vicerretoría Académica de la Universidad de las Américas Puebla. Es miembro de la Academia Mexicana de Ciencias, de la Academia de Ingeniería, de la International Association for Hydro- Environment Engineering and Research, de la International Water Resources Association, de la American Waterworks Association y de la Asociación Mexicana de Hidráulica, de la cual fue su presidente. **Email: poliopro.martinez@udlap.mx**

Jordi Vera Cartas

Licenciatura en Biología por la Universidad de Barcelona (España), MSc en Ciencias Ambientales por la Universidad de Wageningen (Holanda). Investigador en proyectos de la Unión Europea en FLACSO Sede – México. Ha realizado consultorías para CONAGUA, AECID y Banco Mundial, entre otros. Actualmente trabaja con la organización no gubernamental Fondo Golfo de México, A.C., es responsable del monitorear el proyecto GFE (Conservación de la Cuenca Costera en el contexto del Proyecto de Cambio Climático). **jordivera@gmail.com**

Ismael Aguilar Barajas

Licenciado en ingeniería civil (Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo). Doctor en Economía (Escuela de Economía y Ciencias Políticas de Londres). Profesor Titular en el Departamento de Economía e Investigador Asociado en el Centro del Agua para América Latina y El Caribe, del Tecnológico de Monterrey. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores de México. Ha sido merecedor tres veces del Premio Tecnológico de Monterrey a la Labor Docente y de Investigación. Representante del Tecnológico de Monterrey ante el Consejo Consultivo del Agua, cuya misión central es apoyar el diseño de la política hídrica del país, y ante el Programa Interinstitucional de Estudios de la Región América del Norte, radicado en El Colegio de México.

Email: iaguilar@itesm.mx

Nicaragua

Katherine Vammen (Coordinadora del capítulo)

PhD con especialidad en Bioquímica y Microbiología de Agua de la Universidad de Salzburgo, Austria. Especialista en Calidad y Gestión de Agua. Subdirectora del Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Fundadora y Coordinadora de la Maestría Regional Centroamericana en Ciencias del Agua. Punto Focal de Nicaragua en la Red Interamericana de Academias de Ciencia. Co-Chair IANAS (Programa de Agua). **Email: kvammen@cira-unan.edu.ni**

Yelba Flores Meza

Ingeniera de Minas-Geóloga (Instituto de Minas de San Petersburgo, Rusia). Maestra en Ciencias del Agua con énfasis en Calidad de Agua (Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua). Profesor Titular con Maestría, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Docente Investigador, Jefa del Laboratorio de Hidrogeología, Centro para la Investigación de los Recursos Acuáticos de Nicaragua. CIRA/UNAN.

Email: yelba.flores@cira-unan.edu.ni

Selvia Flores Sánchez

Ingeniera en Agroquímica (Escuela de Ingeniería Agroquímica y Protección Vegetal. Halle/Saale, Alemania). Maestra en Gestión Ambiental y Recursos Naturales (Universidad Autónoma de Barcelona y UNAN-Managua). Analista en el Laboratorio de Aguas Naturales y Docente en las asignaturas colegiadas Agua y Sociedad, Limnología y Contaminación de Recursos Hídricos del Programa de Maestría en Ciencias del Agua del Centro para la Investigación en Recursos acuáticos de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua). **Email:** selvia.flores@cira-unan.edu.ni

Iris Hurtado García

Ingeniera Química (Universidad Nacional de Ingeniería UNI, Nicaragua). Maestría en Ingeniería Ambiental con énfasis en Ingeniería Sanitaria (Universidad Nacional de Ingeniería UNI, Nicaragua). Profesor Titular con Especialidad Adjunta, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Docente-Investigador, Jefa del Área Analítica, Centro para la Investigación de los Recursos Acuáticos de Nicaragua.

Email: iris.hurtado@cira-unan.edu.ni

Mario Jiménez García

Licenciado en Ciencias de la educación con Especialidad en Biología, Doctor en Medicina y Cirugía, Maestro en Epidemiología (Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua), Profesor Titular con Maestría, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Investigador área Agua y Salud. Centro para la Investigación de los Recursos Acuáticos de Nicaragua. CIRA/UNAN. **Email:** mjimenezgarcia72@yahoo.com

Francisco J. Picado Pavón

Ingeniero Químico (Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua). Maestría en Ecología Química y Ecotoxicología (Universidad de Lund, Suecia). • Doctor en Ciencias con mención en Ecología y especialización en Ecología Química y Ecotoxicología (Universidad de Lund, Suecia). • Docente e Investigador, Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN-Managua. Jefe de Laboratorio de Contaminantes Metálicos en el Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua. **Email:** francisco.picado@cira-unan.edu.ni

Gustavo Sequeira Peña

Doctor en Medicina y Cirugía (Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, UNAN-León, Doctor en Ciencias Médicas, mención Inmunología (Universidad Friedrich-Schiller, Alemania), Especialista en Inmunología (Cámara Médica de Turingia, Alemania) Sub Especialista en Alergología (Cámara Médica de Turingia, Alemania), Profesor Titular, Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua.

Email: gustavoseq@gmail.com

Panamá

José Rogelio Fábrega Duque (Coordinador del capítulo)

Licenciado en Ingeniería Civil (Universidad Santa María La Antigua). Maestría y Doctorado en Ingeniería Civil, con especialidad en Ingeniería Ambiental (Purdue University). Profesor Tiempo Parcial de las Facultades de Ingeniería Civil e Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Panamá. Director e Investigador Regular Titular, Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas, Universidad Tecnológica de Panamá. Punto Nacional Focal del Programa de Aguas de la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS).
Email: jose.fabrega@utp.ac.pa

Miroslava Morán Montaña

Ingeniera Ambiental (Universidad Autónoma de Guadalajara, México); Mg. Cs. Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad (CATIE, Costa Rica); Maestría en Educación Ambiental (Universidad de Guadalajara, México); Especialista en Recursos Hídricos y Educación en el Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC).

Elsa Lilibeth Flores Hernández

Licenciada en Ingeniería Civil (Universidad Tecnológica de Panamá). Investigadora Especial III, Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas, Universidad Tecnológica de Panamá. Coordinadora de Extensión.

Icela Ibeth Márquez Solano de Rojas

Ingeniero Civil (Universidad de Panamá), Maestría en Ciencias Básicas de Ingeniería (Universidad Tecnológica de Panamá), Post grado y Maestría en Ingeniería Ambiental (Universidad Tecnológica de Panamá), Diplomado internacional en riesgo ambiental (Universidad Nacional Autónoma de México), Profesora Regular Titular en Ingeniería Sanitaria y Ciencias Básicas de Ingeniería en la Universidad Tecnológica de Panamá, consultora y auditora ambiental, tutora ambiental Fundación Universitaria Iberoamericana (FUNIBER).

Argentina Ying B

Licenciada en Biología con especialización en Tecnología Médica: Universidad de Panamá. Maestro en Ciencias con especialización en Entomología Médica. Universidad de Panamá. Profesora Titular 50% de Parasitología, Facultad de Medicina, Departamento de Microbiología. Universidad de Panamá.

Casilda Saavedra

Doctora en Ciencias Ambientales (Washington State University, USA). Maestría en Ciencias Ambientales (Washington State University, USA). Postgrado en Sistemas de Información Geográfica (Universidad Tecnológica de Panamá). Especialista en Docencia Superior (Universidad de Panamá). Licenciada en Ingeniería Civil (Universidad Tecnológica de Panamá). Profesora Regular Titular, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá. Miembro del Sistema Nacional de Investigación de Panamá en la Categoría Investigador Nacional I. Punto Focal de la República de Panamá ante el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). Punto Focal de la Universidad Tecnológica de Panamá ante el Comité Nacional de Cambio Climático (CONACCP).

Berta Alicia Olmedo Vernaza

Técnica en Meteorología (Universidad de Panamá). Meteoróloga Clase II OMM (Instituto de Meteorología-Madrid, España). Licenciada en Estadística (Universidad de Panamá). Postgrado en Meteorología Aplicada (Universidad de Costa Rica). Profesora de Climatología en la Lic. En Meteorología. Encargada del grupo de Variabilidad y Cambio Climático, Gerencia de Hidrometeorología de ETESA.

Pilar López Palacios

Técnica en Meteorología (Universidad de Panamá). Estudiante de la Licenciatura en Meteorología (Universidad de Panamá). Labora en Climatología, Gerencia de Hidrometeorología de ETESA.

Perú

Nicole Bernex Weiss (Coordinadora del capítulo)

Doctor en Geografía (Universidad Paul Valéry, Montpellier, Francia). Profesor principal del Departamento de Humanidades, Pontificia Universidad Católica del Perú. Directora Académica del Centro de Investigación en Geografía Aplicada de la Pontificia Universidad Católica del Perú (CIGA-PUCP). Miembro del Comité Técnico de la Asociación Mundial para el Agua (GWAP). Miembro de número de la Academia Nacional de Ciencias del Perú. Punto Nacional Focal del Programa de Aguas de la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS). [Email: nbernex@pucp.edu.pe](mailto:nbernex@pucp.edu.pe)

Victor Carlotto Caillaux

Doctor en Geología (Universidad Joseph Fourier de Grenoble, Francia). Profesor Principal de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco y Profesor en la Pontificia Universidad Católica del Perú. Past-Director Geocientífico del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET). Miembro de número de la Academia Nacional de Ciencias del Perú.

César Cabezas Sánchez

Médico cirujano (Universidad Nacional Mayor de San Marcos). Especialista en enfermedades infecciosas y tropicales. Director del Instituto Nacional de Salud del Perú (INS). Miembro Asociado de la Academia Nacional de Medicina del Perú. [Email: ccabezas@ins.gob.pe](mailto:ccabezas@ins.gob.pe)

Ruth Shady Solis

Doctor en Arqueología (Universidad Nacional Mayor de San Marcos). Profesora Principal de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Directora del Proyecto Especial Arqueológico Caral-Supe. Miembro de número de la Academia Nacional de Ciencias del Perú. Punto Nacional Focal del Programa Women for Science de la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS). [Email: rshady@zonacaral.gob.pe](mailto:rshady@zonacaral.gob.pe)

Fernando Roca

Doctor en Antropología social, Etnobotánico (Escuela de Altos Estudios en Ciencias Sociales, Paris). Profesor Principal del Departamento de Comunicaciones de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Director de la Maestría de Altos Estudios Amazónicos de la Escuela de post-grado de la PUCP. Miembro de número de la Academia Nacional de Ciencias del Perú.

Mathieu Durand

Mathieu Durand. Doctor en Geografía (Universidad del Maine, Francia). Profesor de Ordenamiento Territorial en la Universidad du Maine y miembro del centro de investigación ESO (Espacio y Sociedad) del Centro Nacional de la Investigación Científica (CNRS).

Eduardo Ismodes Cascón

Doctor en Historia de América Latina (Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, España). Ingeniero mecánico. Profesor Principal del Departamento de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Julio Kuroiwa Zevallos

Julio Kuroiwa Zevallos. Doctor de Filosofía en Ingeniería Civil (Colorado State University, EE.UU.). Profesor asociado de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería. Director del Laboratorio Nacional de Hidráulica de la Universidad Nacional de Ingeniería. **Email: kuroiwa@mk.com.pe**

Estados Unidos de América

Henry J. Vaux, JR. (Coordinador del Capítulo)

Henry Vaux, Jr. es Profesor Emérito de Economía de los Recursos en la Universidad de California, Riverside y Vicepresidente Asociado Emérito del Sistema de la Universidad de California. Su especialidad académica es la Economía de los Recursos Hídricos, tema sobre el que ha escrito y publicado extensamente. Anteriormente, el Profesor Vaux se desempeñó como Director del Centro de Recursos Hídricos de la Universidad de California. Continúa ejerciendo su cargo de Presidente del Foro Internacional Rosenberg sobre Políticas del Agua de la Universidad. El Profesor Vaux es Miembro Nacional de la Academia Nacional de Ciencias de EE.UU. y se desempeñó como Presidente de la Junta de Ciencias del Agua y Tecnología del Consejo Nacional de Investigación. Ha estado al frente de delegaciones científicas en Irán, Túnez y México, representando al Consejo Nacional de Investigación. Actualmente forma parte del Comité de Agua de la Red Interamericana de Academias de la Ciencia. El Profesor Vaux es Presidente Emérito del Consejo de Directores de la Fundación para la Educación sobre Agua de California. **Email: vaux0@att.net**

Uruguay

Daniel Conde Scalone (Coordinador del capítulo)

Licenciado en Oceanografía Biológica y Doctor en Ecología Acuática, especializado en ecología de lagunas costeras y manejo costero integrado. Profesor Agregado de la Sección Limnología, Facultad de Ciencias (UdelaR). Investigador Nivel II-ANII y Primer Nivel del PEDECIBA. Lidera un grupo interdisciplinario sobre manejo costero y coordina el Centro Interdisciplinario para el Manejo Costero Integrado del Cono Sur de la UdelaR. **Email: vladdccc@gmail.com**

Adriana Piperno de Santiago (Coordinadora del capítulo)

Arquitecta. Profesora del Instituto de Teoría y Urbanismo, Facultad de Arquitectura (UdelaR), donde es corresponsable del equipo de investigación de Aguas urbanas y gestión del riesgo y del curso opcional Agua y ciudad. Co-coordinadora del Grupo de Aguas Urbanas de PHI-LAC de UNESCO y asesora de la Dirección de Aguas en materia de Inundaciones y drenaje urbano. Integrante del Sistema Nacional de Investigadores-ANII y de las subcomisiones de I+D e Iniciación a la investigación de CSIC. **Email: apiperno@farq.edu.uy**

Federico Quintans Sives (Coordinador del capítulo)

Licenciado en Biología (Universidad de la República). Magíster en Ciencias Ambientales de la UdelaR. Profesor Asistente de la Sección Limnología, Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias (UdelaR). Asesor en sistemas de saneamiento descentralizado en la Dirección Nacional de Aguas, Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. **Email: Federico.quintans@gmail.com**

Autores

El equipo de autores está compuesto por docentes de la UdelaR y profesionales invitados a título personal, pertenecientes a distintos ámbitos de gestión: **Jimena Alonso (jimealonsop@gmail.com)**, **Christian Chreties (chreties@fing.edu.uy)**, **Nicolás Rezzano (nrezzano@gmail.com)**, **Julieta Lopez (jlopez@fing.edu.uy)**, **Eliza-**

beth González (aliceelizabethgonzalez@gmail.com) y **Luis Silveira** (lesy@fing.edu.uy) son Ingenieros civiles con perfil Hidráulico Ambiental y docentes de la Facultad de Ingeniería; **Javier Task** (jtaks@adinet.com.uy) y **Carlos Santos** (santos.carlos@gmail.com) son antropólogos, docentes de la Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación; **Pablo Sierra** (p.sierra.uy@gmail.com) y **Amancay Matos** (amancay.matos@gmail.com) son arquitectos, docentes de la Facultad de Arquitectura; **Rafael Arocena** (rafaelarocena37@gmail.com) y **Luis Aubriot** (luis.aubriot@gmail.com) son biólogos, docentes de la Facultad de Ciencias; **Nestor Mazzeo** (mazzeobeyhaut@yahoo.com) y **Guillermo Goyenola** (goyenola@gmail.com) son biólogos pertenecientes al Centro Universitario Regional Este; **Alvaro Capandeguy** (acapand@gmail.com) es ingeniero, profesional de la URSEA; **Gabriela Sanguinet** (asanguinet@mvtoma.gub.uy) y **Matilde Saravia** (matildesaravia@gmail.com), ambas abogadas, **Andrea Gamarra** (agamarraparodi@gmail.com) y **Alejandra Cuadrado** (alejacuadrado@gmail.com), ambas sociólogas, **Juan Pablo Martínez Penades** (juanmartinezpenades@gmail.com), ingeniero hidráulico ambiental, y **Oswaldo Sabaño** (sabano.osvaldo@gmail.com), arquitecto, son todos técnicos de la DINAGUA-MVOTMA; **Pablo Guido** (pablo.luis.guido@gmail.com) y **Maria Mena** (mariaceliamera@gmail.com) son ingenieros hidráulicos de la Intendencia de Montevideo.

Venezuela

Ernesto José González (Coordinador del capítulo)

Licenciado en Biología (Universidad Central de Venezuela). Doctor en Ciencias, Mención Ecología (Universidad Central de Venezuela). Profesor Titular, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Jefe del Laboratorio de Limnología del Instituto de Biología Experimental, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Director del Instituto de Biología Experimental. Punto Nacional Focal del Programa de Aguas de la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS). **Email:** ernesto.gonzalez@ciens.ucv.ve

María Leny Matos

Licenciada en Biología (Universidad de Los Andes). Magister Scientiarum en Ciencias, Mención Botánica (Universidad Central de Venezuela). Jefe del Laboratorio de Plancton de HIDROVEN. Ex- Directora de la Dirección General de Calidad Ambiental del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. Especialista en Asistencia Técnica y Superintendencia de los Servicios de HIDROVEN. Secretaria del Comité Técnico Nacional de Calidad del Agua de Venezuela. **Email:** lenymatos@gmail.com

Eduardo Buroz

Ingeniero Agrónomo (Universidad Central de Venezuela). Magister Scientiarum en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Ingeniería y Planificación (Universidad de Oriente, Venezuela; Stanford University, California, USA). Especialista en Ciencias Ambientales (Universidad Metropolitana, Venezuela). Profesor Titular, Postgrado Ingeniería Ambiental, Universidad Católica Andrés Bello y Postgrado Ingeniería Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Miembro Correspondiente de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales. Individuo de Número (electo) de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. **Email:** eduardo.buroz@gmail.com

José Ochoa-Iturbe

Ingeniero Civil (Universidad Católica Andrés Bello). Master in Business Administration (Major: Environment), Florida Atlantic University. Candidato a Doctor, Universidad Católica Andrés Bello. Ex-Presidente de la Sociedad Venezolana de Ingeniería Hidráulica. Ex-Presidente de la Red Interamericana de Recursos Hídricos. Profesor Asociado, Universidad Metropolitana. Profesor Adjunto, Escuela de Ingeniería Civil, North Carolina State University. Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica Andrés Bello.

Email: jochoai@gmail.com

Antonio Machado-Allison

Licenciado en Biología (Universidad Central de Venezuela). Ph.D. (The George Washington University). Profesor Titular (Jubilado), Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Laboratorio de Biosistemática de Peces, Instituto de Zoología y Ecología Tropical, Universidad Central de Venezuela. Investigador Asociado del Museo Americano de Historia Natural (New York, USA), Museo Field de Historia Natural (Chicago, USA) y del Instituto Smithsonian (Washington, D.C., USA). Individuo de Número (Sillón III) de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales. Bibliotecario y actualmente Secretario Académico de la Academia. Presidente de la Fundación de la Academia (FUDECI) y Presidente de la Fundación Palacio de las Academias. Gerente de Centros de Investigación y Cátedras Libres del Vicerrectorado Académico (Universidad Central de Venezuela). **Email:** antonio.machado@ciens.ucv.ve

Róger Martínez

Urbanista (Universidad Simón Bolívar). Magíster en Ingeniería de Sistemas (Universidad Simón Bolívar). Doctor en Arquitectura (Universidad Central de Venezuela). Profesor Titular, Departamento de Planificación Urbana, Universidad Simón Bolívar. Director de la División de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Simón Bolívar. **Email:** rmartine@usb.ve

Ramón Montero

Licenciado en Química, Opción Geoquímica (Universidad Central de Venezuela). Doctor en Ciencias, Mención Geoquímica (Universidad Central de Venezuela). Profesor Agregado, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Jefe del Laboratorio de Hidrogeoquímica y del Laboratorio de Absorción y Emisión Atómica y Cromatografía, Instituto de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Director del Instituto de Ciencias de la Tierra, Universidad Central de Venezuela.

Email: ramon.montero@ciens.ucv.ve

DESAFÍOS DEL AGUA URBANA EN LAS AMÉRICAS

Perspectivas de las Academias de Ciencias



Las Américas se encuentra entre las regiones más urbanizadas del mundo (> 80%). La urbanización va de la mano con la intensificación del uso de los recursos hídricos para las necesidades humanas; a su vez, los sistemas hidrológicos juegan un papel en el desarrollo y crecimiento de las ciudades no sólo como fuentes de agua potable, sino también para la deposición de residuos. *Desafíos del Agua Urbana en las Américas* describe y analiza los problemas en materia de agua en centros urbanos de 20 países de las Américas: desde América del Sur, América Central, México y el Caribe, hasta los Estados Unidos y Canadá. Este particular compendio de experiencias sobre aguas urbanas en las Américas se encuentra sustentado por una amplia representación geográfica que toma en cuenta las diferencias en cuanto a disponibilidad de los recursos hídricos y los niveles de desarrollo económico.

Los retos principales de este libro de la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS) son: ¿Se pueden solucionar los problemas de abastecimiento de agua y saneamiento urbano mediante una mejor gestión de los mismos? ¿Se puede mejorar el acceso al agua potable? ¿Es posible dar solución a los retos de mejora de saneamiento y gestión de aguas residuales? ¿Puede mejorarse la atención que se presta actualmente a los problemas de salud y enfermedades transmitidas por el agua en las zonas urbanas? ¿Cuáles son los desafíos de adaptación al cambio climático relacionados con el agua en las zonas urbanas y cómo pueden solucionarse? ¿Cuáles son los modelos y conceptos a seguir que contribuyen a mejorar la gestión del agua en las zonas urbanas?

La obra pretende constituirse en una herramienta para la búsqueda de soluciones a los desafíos de la gestión adecuada de los recursos hídricos en zonas urbanas.