



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



UNIVERSITEIT
GENT

Belgian Science Policy Office



belspo

Changing Small Island Developing States:

A space perspective on environmental change in the Caribbean

Cambios en los pequeños Estados insulares en desarrollo:

Una perspectiva espacial sobre los cambios ambientales en el Caribe



Changing Small Island Developing States:

A space perspective on environmental change in the Caribbean

Cambios en los pequeños Estados insulares en desarrollo:

Una perspectiva espacial sobre los cambios ambientales en el Caribe

Changing Small Island Developing States:

A space perspective on environmental change in the Caribbean

Small Island Developing States (SIDS) were recognized as a distinct group of developing countries facing specific social, economic and environmental vulnerabilities at the Earth Summit in Brazil in 1992. SIDS have their own vulnerabilities and characteristics that make the difficulties they face in achieving sustainable development particularly complex. These complicating characteristics include their small size and high population density, relative isolation, impacts of climate change and sea-level rise due to the concentration of people and property in the coastal zone - a limited land area, particularly vulnerable to natural and environmental disasters. This publication, sharing cases which give insight on many of these characteristics, is a contribution to the 2014 International Year of SIDS.

The United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO) and Ghent University have partnered with the support of the Belgian Science Policy Office (BELSPO) to study various kinds of environmental changes in a select number of Caribbean SIDS using the tool of remote sensing. The aim of the project is to show and to convince researchers and decision-makers of the usefulness of remote sensing in the discussion about environmental and climate change. Images from space can also provide compelling educational information about large processes which are taking place. Satellite images compared through time provide an effective tool to assess natural or human induced processes. The scale of SIDS is ideal for this kind of analysis. They are also the regions of the world experiencing some of the earliest and most

severe impacts of climate change. The project was initiated with a workshop in Kingston, Jamaica in December 2013 which brought together regional experts on environmental planning, remote sensing and Geographic Information Systems (GIS). This publication reflects the expertise and the case studies discussed at this workshop.

For the purpose of highlighting a selection of cases in the Caribbean SIDS, different types of satellite images were collected and processed in an adapted way. All the images are geo-referenced, ortho-rectified and pan-sharpened. Mosaics and 3D-images were produced for the islands. Several cases were processed that illustrate environmental and climate changes in Caribbean SIDS such as the struggle to balance conservation and development, landscapes subjected to more frequent storms of increasing ferocity under changing climatic regimes, and growing, increasingly urban, populations. The cases documented include different approaches to land use and conservation; environmental changes in estuaries, mangroves, corals, coastlines and forests; urbanization, tourism infrastructure and industrialization and finally disasters from pre-event hazard maps to impacts such as flooding and landslides and finally reconstruction efforts. Particular attention was

placed on obtaining pairs of multi-temporal images in order to show changes to the landscape over time.

The satellites which generated this imagery circulate around the earth at an orbit height of approximately 700 km. They carry sensors that record reflected and emitted energy from Earth. The recorded energy can be split up in different wavelengths of the electromagnetic spectrum. Only the part from violet to red is visible to human eyes. However there is a lot more to see if we attribute a color to the different wavelengths that can be recorded by a satellite but not seen by humans. As an example: since the non-visible infrared is an indicator for vegetation if this infrared is visualized by red, you can clearly distinguish the vegetation in a landscape. In this kind of color-enhanced images, vegetation would appear as red. Due to the orbit height it is possible that clouds disturb the image; especially in regions with a humid cloudy climate, as in the Caribbean, the images can be partly covered by clouds.

The satellite images that are used are Landsat images from National Aeronautics and Space Administration NASA, of the United States, ASTER images, a cooperative effort between NASA and Japan, and SPOT and Pléiades

images from the French space agency, Centre National d'Études Spatiales (CNES). The Landsat program has been running since 1972 with a series of subsequent satellites starting with Landsat 1; in 2013 Landsat 8 was launched. The wavelength ranges, or bands of Landsat 7 and 8 have multispectral bands with a resolution of 30 meter and panchromatic bands at 15 meter. The multispectral bands of Landsat 5 have a resolution of 30 meter. The ASTER program was launched in 1999. The multispectral bands have a resolution of 15 meter. The SPOT program started with SPOT 1 in 1986, SPOT 6 was launched in 2012, SPOT 7 in 2014. SPOT 5 has 5 bands and a resolution of 2.5 meter pan-sharpened. As of the date of this publication, the Pléiades program has two active satellites. Pléiades has 4 bands, the multispectral bands have a resolution of 2 meter, the panchromatic band is 0.5 meter. For several analyses included in cases, images from the company DigitalGlobe are used. These are available at Google Earth.

Of course, all analyses done from space must be verified and complemented by research done on the ground by experts on the place. The space perspective can open our horizons on changing landscapes but we continue to rely

on human perspectives to understand and respond to the change.

UNESCO and Ghent University would like to thank BELSPO for their continued support of this project. We also thank UNESCO Kingston and the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) for their collaboration in co-organizing the workshop in Kingston.

UNESCO and Ghent University would also like to thank all the reviewers and authors of this publication for their vital research and valuable contributions.

Lieselot Lapon and Philippe De Maeyer,
Department of Geography, Ghent University

Sarah Gaines,
Earth Sciences and Geohazard Risk Reduction Section,
Division of Ecological and Earth Sciences,
UNESCO

Cambios en los pequeños Estados insulares en desarrollo: *Una perspectiva espacial sobre los cambios ambientales en el Caribe*

En la Cumbre para la Tierra celebrada en Brasil en 1992, se reconoció que los pequeños Estados insulares en desarrollo (PEID) constituían un grupo de países con particularidades propias, que tienen que afrontar vulnerabilidades sociales, económicas y ambientales específicas. Los PEID presentan características y vulnerabilidades propias que hacen que las dificultades que deben encarar para alcanzar un desarrollo sostenible sean especialmente complejas. Entre estas características destacan su pequeño tamaño, su alta densidad de población, su aislamiento relativo, las repercusiones del cambio climático y de la elevación del nivel del agua del mar, debidas a la concentración de personas y propiedades en las zonas costeras, que son franjas de tierra especialmente expuestas a los desastres naturales y ambientales. Esta publicación, en la que se

presentan casos que ayudan a entender mejor muchas de estas características, es una contribución al Año Internacional de los PEID, 2014.

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y la Universidad de Gante, con el apoyo de la Oficina de Política Científica Federal de Bélgica (BELSPO), han colaborado en el estudio, basado en la teledetección, de diversos tipos de cambios ambientales en un número determinado de PEID del Caribe. La finalidad del proyecto es mostrar y convencer a los investigadores y a los encargados de adoptar decisiones de la utilidad de la teledetección en el debate relativo a los cambios ambientales y el cambio climático. Las imágenes tomadas desde el espacio también pueden

proporcionar información pedagógica convincente acerca de los procesos que se están produciendo. La comparación de imágenes de satélite obtenidas en distintos momentos es un instrumento que permite evaluar de forma eficaz los procesos naturales o inducidos por la actividad humana. La escala de los PEID es ideal para este tipo de análisis. Los PEID también son las regiones del mundo que están sufriendo algunos de los primeros efectos, y de mayor intensidad, del cambio climático. El proyecto se inició con un taller celebrado en Kingston (Jamaica), en diciembre de 2013, al que asistieron expertos regionales de planificación ambiental, teledetección y sistemas de información geográfica (SIG). Esta publicación refleja los conocimientos técnicos, así como los estudios de caso analizados en dicho taller.

Con el fin de proceder a una selección de casos de PEID en el Caribe, se realizaron diversos tipos de imágenes de satélite, que se procesaron según técnicas adaptadas. Todas las imágenes están georreferenciadas, corregidas ortogonalmente y son fusiones de imágenes pancromáticas. Para las islas se elaboraron mosaicos e

imágenes en tres dimensiones. Se incorporaron algunos casos que ilustran cambios ambientales y el cambio climático en los PEID del Caribe, tales como la lucha para mantener el equilibrio entre conservación y desarrollo, las regiones sometidas más frecuentemente a tormentas de mayor intensidad en situaciones climáticas cambiantes y las áreas de gran crecimiento de población, especialmente urbana. En los casos que se documentan podrán encontrarse distintos enfoques del uso y conservación de la tierra; ejemplos de cambios ambientales en estuarios, manglares, zonas coralinas, zonas costeras y bosques; repercusiones de la urbanización, las infraestructuras turísticas y la industrialización; y ejemplos de catástrofes, desde mapas de zonas de riesgo anteriores a un desastre hasta sus repercusiones, en casos de inundaciones y deslizamientos de tierras, así como de los esfuerzos de reconstrucción. Se ha prestado atención especial a la obtención de pares de imágenes multitemporales que muestren los cambios que experimenta el territorio con el tiempo.

Los satélites que obtienen todas estas imágenes se encuentran en órbita alrededor de la Tierra a una altura aproximada de 700 km. Disponen de sensores que captan la energía que refleja y emite la superficie terrestre. La energía captada se puede separar según las distintas longitudes de onda del espectro electromagnético. Para el ojo humano solo resulta visible la parte del violeta al rojo. Sin embargo, hay mucho más que ver, si se asignan colores diferentes a las distintas longitudes de onda recibidas por el satélite, pero no captadas por el ojo humano. Por ejemplo, como el infrarrojo (no visible) es un indicador de la existencia de vegetación, si a esa banda del espectro se le asigna el color rojo, en la imagen se puede distinguir claramente la vegetación sobre el terreno. En este tipo de imágenes con colores añadidos, la vegetación aparecería de color rojo. Debido a la altura de la órbita, las imágenes pueden quedar distorsionadas por las nubes, especialmente en las regiones de climas húmedos, como el Caribe, donde es frecuente que las imágenes muestren un territorio parcialmente cubierto por aquellas.

Las imágenes de satélite utilizadas proceden de los satélites Landsat de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) de los Estados Unidos; del instrumento ASTER, un esfuerzo conjunto de la NASA y el Japón; y de SPOT y Pléiades, de la Agencia Espacial Francesa (Centre National d'Études Spatiales, CNES). El programa Landsat se remonta a 1972, y ha puesto en órbita una serie de sucesivos satélites que se inició con el Landsat 1; en 2013 se lanzó al espacio el Landsat 8. Los intervalos, o bandas, de longitudes de onda de los satélites Landsat 7 y 8 son bandas multiespectrales con una resolución de 30 metros y bandas pancromáticas de 15 metros. El programa ASTER se inició en 1999; las bandas multiespectrales tienen una resolución de 15 metros. El programa SPOT empezó en 1986 con el SPOT 1, y en 2013 puso en órbita el SPOT 6. El SPOT 5 dispone de cinco bandas y una resolución de 2,5 metros de imágenes pancromáticas. En el momento de la publicación del presente texto, el programa Pléiades mantiene en actividad dos satélites. Tienen 4 bandas; las multiespectrales tienen una resolución de 2 metros y la

pancromática de 0,5 metros. En el análisis de algunos casos se han utilizado imágenes de la empresa DigitalGlobe, que pueden consultarse en Google Earth.

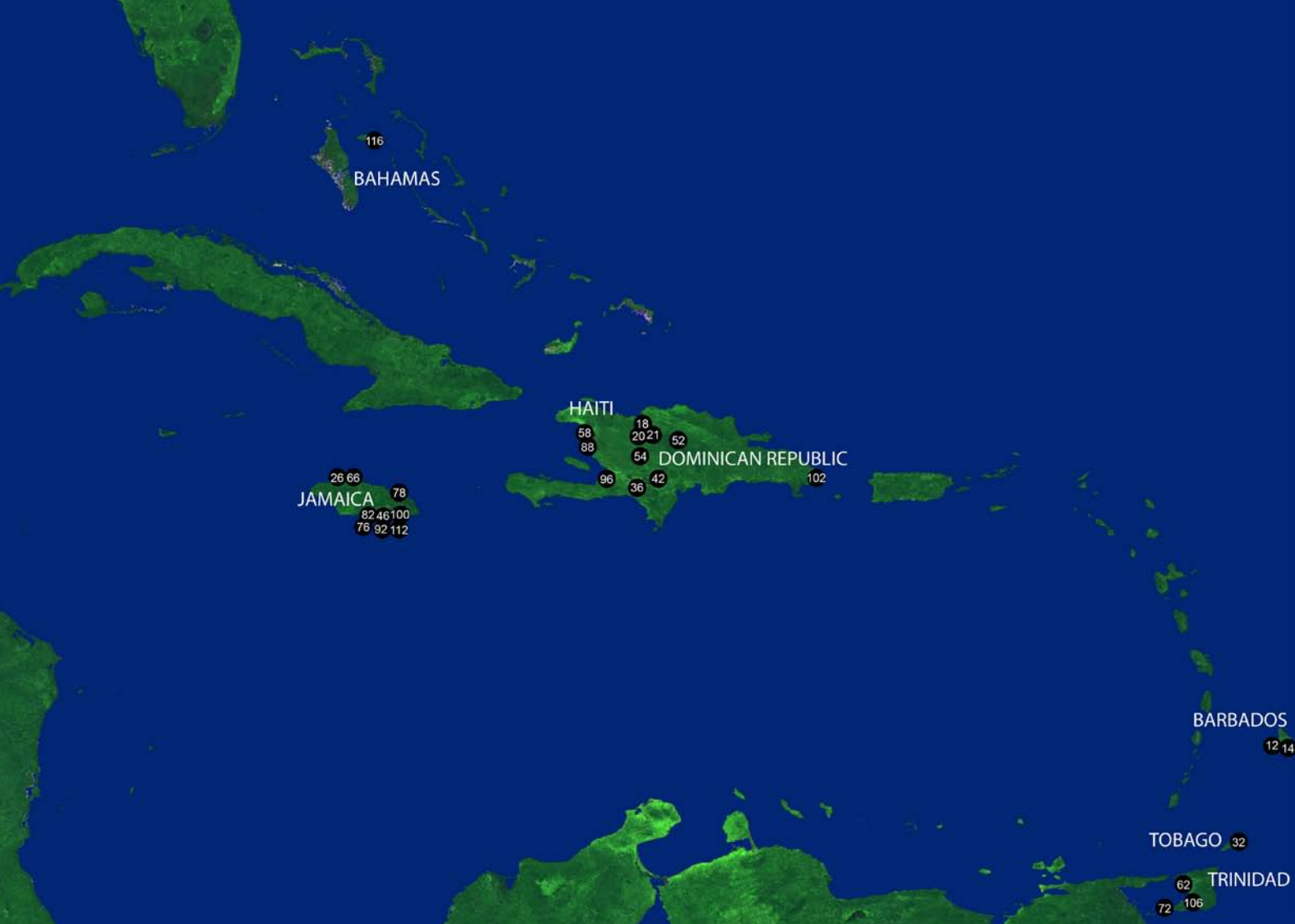
Como es evidente, todos los análisis realizados en el espacio deben contrastarse y complementarse con la investigación hecha en tierra por los expertos adecuados. La perspectiva espacial puede abrir nuevos horizontes para el estudio de los cambios del territorio, pero seguimos dependiendo de las perspectivas humanas para comprender y dar respuesta a estos cambios.

La UNESCO y la Universidad de Gante desean agradecer a BELSPO su apoyo ininterrumpido a este proyecto. También agradecemos a la Oficina de la UNESCO en Kingston y a la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Teledetección (SIFT) su colaboración en la organización conjunta de este taller en Kingston.

La UNESCO y la Universidad de Gante también desean agradecer a todos los autores y revisores de esta publicación su crucial investigación y sus valiosas contribuciones.

*Lieselot Lapon y Philippe De Maeyer,
Departamento de Geografía, Universidad de Gante*

*Sarah Gaines,
Sección de Ciencias de la Tierra y Riesgos Geológicos
División de Ciencias Ecológicas y Ciencias de la Tierra,
UNESCO*



116
BAHAMAS

26 66 78
JAMAICA
82 46 100
76 92 112

HAITI
58 88 18 20 21 52
54 DOMINICAN REPUBLIC
96 36 42 102

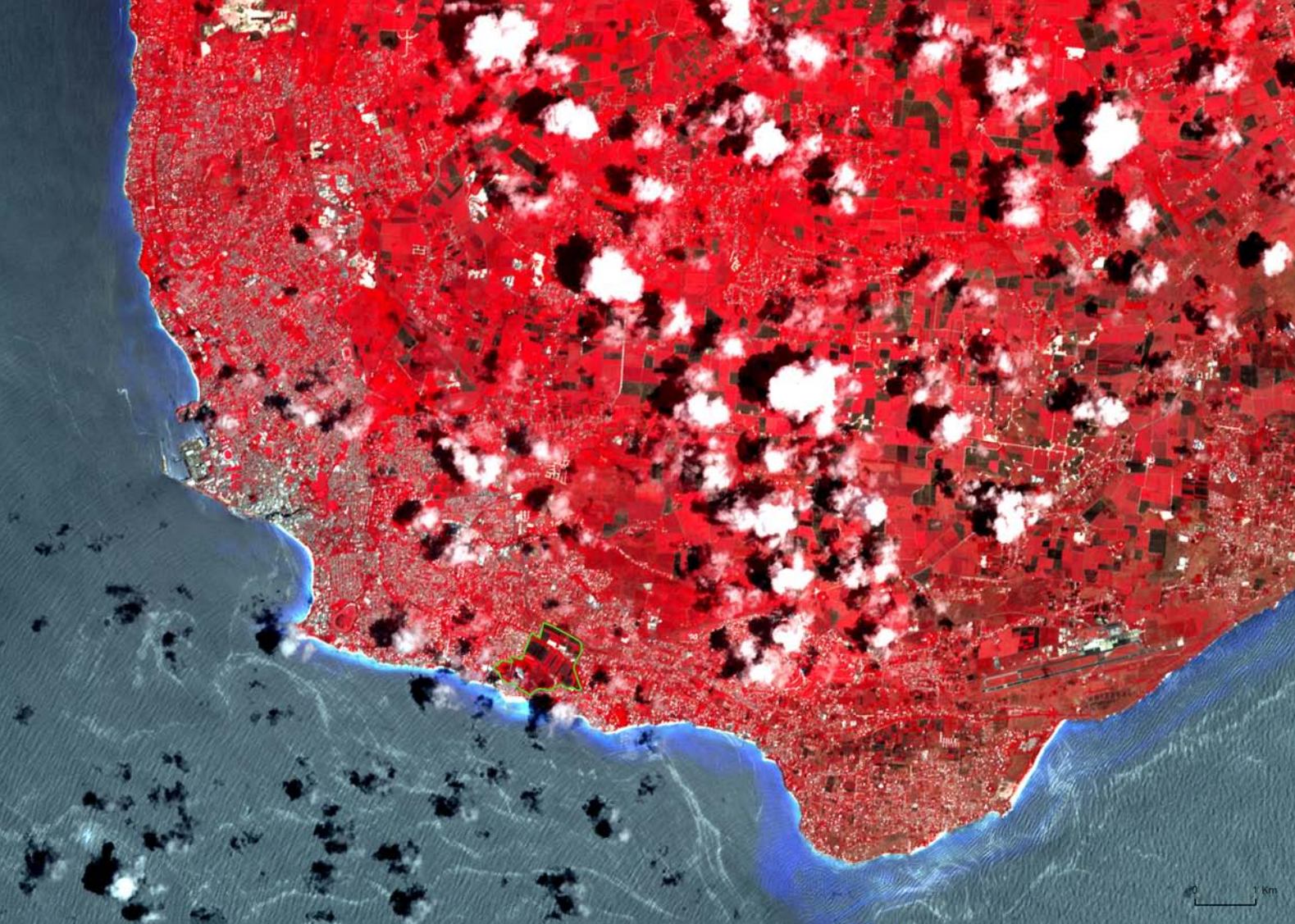
BARBADOS
12 14

TOBAGO 32

62 72 106
TRINIDAD

Case descriptions

Descripción de los casos



Differences in land use

Diferencias en el uso de la tierra

Southern Barbados with nonvisible infrared wavelengths
visualized in red to emphasize vegetated areas

© NASA/GSFC/METI/Japan Space Systems, ASTER image 2013



0 1 Km

Changing landscape of Barbados

Cambios en el territorio de Barbados

Prior to European settlement in 1627, the island of Barbados was reported to be heavily forested. Seasonal forests dominated the landscape but mangrove swamps were more common along the west and south coasts. Within thirty years of settlement, however, approximately seventy percent of Barbados' forest cover was removed for timber and sugar cultivation. The onset of cheap air travel to Barbados in the mid-twentieth century, facilitated by the opening of an international airport, triggered a growth in tourist arrivals to the island. In response to this development, many hotels became established along the coasts. Accompanying these establishments was the construction of restaurants and

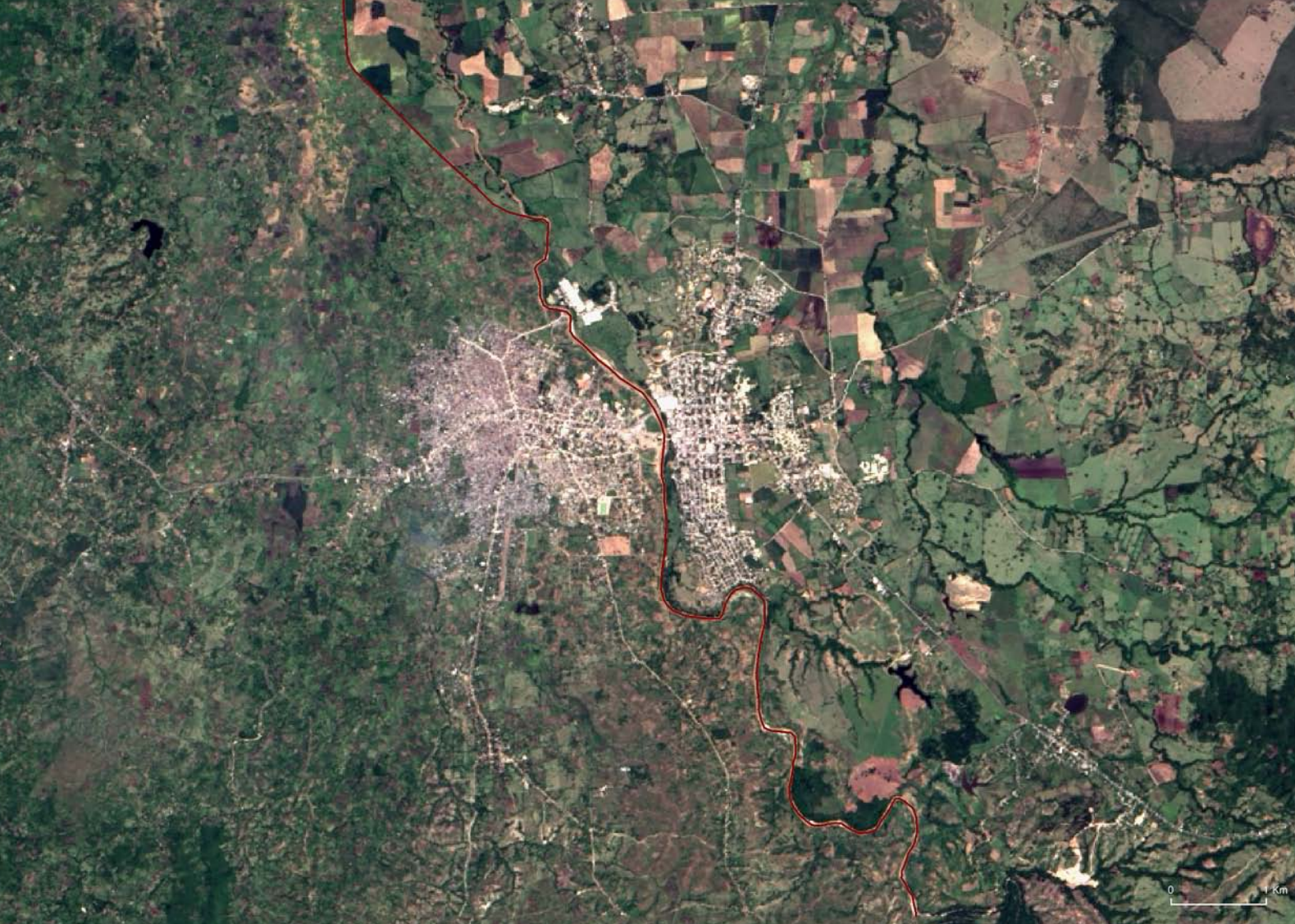
entertainment centres. Unfortunately, such coastal development has resulted in significant loss of mangrove swamps, with Graeme Hall Swamp located on the south coast, at ninety acres in area, being the largest remaining mangrove swamp in Barbados. A few small remnants of mangrove swamps can be found on the west coast. With tourism replacing sugar production as the most important contributor to Barbados' economy, human encroachment of the coastline is expected to continue.

Leroi Coppin, Environmental Science,
Barbados Community College

Antes del asentamiento de los europeos en 1627, los bosques cubrían la isla de Barbados. En el territorio predominaban los bosques estacionales, y los manglares abundaban en las costas occidental y meridional. Sin embargo, treinta años después, había desaparecido aproximadamente el 70% de la cubierta forestal de Barbados, a favor de la producción de madera y el cultivo de azúcar. A raíz del bajo precio de los vuelos a la isla desde mediados del siglo XX, se construyó un aeropuerto internacional y se desencadenó la llegada a la isla de un número creciente de turistas. En consecuencia, en las costas se construyeron muchos hoteles, así como restaurantes y

centros de recreo. Desgraciadamente, este desarrollo costero se ha traducido en una pérdida importante para los manglares, de forma que el pantano de Graeme Hall, con sus 90 acres de superficie en la costa meridional, es el manglar de mayor extensión de Barbados. En la costa occidental subsisten pequeños restos de manglares. Dado que el turismo está desplazando al cultivo de azúcar como principal contribuyente a la economía de Barbados, se espera que persista el deterioro de la costa como consecuencia de la presencia humana.

*Leroi Coppin, Ciencias Ambientales,
Barbados Community College*



Land use in Hispaniola: differences in urban planning, agriculture and deforestation

*Uso de la tierra en la Hispaniola:
diferencias en la planificación urbana,
la agricultura y la deforestación*





Despite sharing the island of Hispaniola, Haiti and the Dominican Republic have dramatically different histories from colonization to the modern era. These different histories can be seen dramatically in the landscapes of the two countries across the international border. Three examples of differing land uses are particularly evident from space: urban planning, agriculture and deforestation.

The cities of Ouanaminthe (Haiti) and Dajabón (Dominican Republic) can be seen on either side of the international border. Dajabón clearly shows the urban grid pattern which has been celebrated in the Colonial City of Santo Domingo World Heritage Site, nominated to preserve this approach to urban planning

which has its origins in the Roman model but was applied throughout Spanish colonies. The urban plan of Ouanaminthe follows a more organic radiant pattern.

The slave revolution that created Haiti in 1804 prompted a land reform that subdivided plantations for the use of emancipated slaves. This division of plantations, complemented by the freed islanders self-reliant knowledge of sustainable agriculture that planted a variety of crops close together was the foundation for a land tenure of small farms. With an increasing land density – the number of people per square kilometre of arable land – renting and sharecropping practices have increased and the arable land is under increased pressure.

Agriculture in the Dominican Republic, on the other hand, is still predominantly government owned commercial sugar cane production.

These differences can be seen in the dramatically different size of agricultural parcels evident in the 2013 imagery.

Haiti suffers from one of the highest rates of deforestation in the world, while the Dominican Republic has lush forests, as starkly visible from imagery. The primary culprit for the loss of 98%

of Haiti's forest is commonly agreed to be for cooking – the wood and charcoal remain the primary fuel source. The Dominican Republic has avoided this problem by banning the practice outright and subsidizing propane fuel as a substitute. There are reports that illegal charcoal trade continues along the border. The problem of deforestation makes Haiti extremely vulnerable to soil erosion which damages infrastructure, lowers soil productivity and makes reforestation efforts even more difficult.

A pesar de compartir la isla de la Hispaniola, Haití y la República Dominicana han tenido historias muy distintas desde la colonización hasta la era moderna. Estas diferencias históricas se reflejan intensamente en los territorios de los dos países, a ambos lados de la frontera internacional. Desde el espacio pueden verse claramente tres ejemplos del distinto uso de la tierra en los dos países, en los ámbitos de la planificación urbana, la agricultura y la deforestación.

Pueden verse las localidades de Ouanaminthe (Juana Méndez) en Haití y Dajabón en la República Dominicana, situadas a uno y otro lado de la frontera. En el caso de Dajabón se aprecia el modelo de red urbana que ha hecho

de la ciudad colonial de Santo Domingo un sitio del Patrimonio de la Humanidad, título otorgado para preservar este enfoque de planificación urbana que tiene su origen en el modelo romano y que se aplicó a las colonias españolas. El urbanismo de Ouanaminthe sigue un modelo orgánico radial.

La revolución esclavista que dio origen a Haití en 1804 propició una reforma agraria que subdividió las plantaciones para el uso de los esclavos emancipados. Esta división de las plantaciones, junto a los conocimientos autosuficientes de los isleños libres sobre agricultura sostenible, que plantaron numerosas especies, unas junto a otras, sentaron las bases del uso de la tierra en pequeñas explotaciones.

Al aumentar la densidad de población sobre el terreno -el número de personas por kilómetro cuadrado de tierra cultivable-, proliferaron las prácticas de subcontratación y aparcería, y aumentó la presión sobre la tierra cultivable. Por otra parte, en la agricultura de la República Dominicana sigue predominando la producción de caña de azúcar de titularidad estatal, para su comercialización. Estas diferencias resultan evidentes al comprobar el tamaño sustancialmente distinto de las explotaciones agrarias en las imágenes de 2013.

Haití cuenta con una de las tasas de deforestación más elevadas del mundo, mientras que en la República Dominicana los bosques son exuberantes, como puede

apreciarse claramente en las imágenes. Todo el mundo coincide en afirmar que la razón principal de la pérdida del 98% de la superficie de bosques en Haití es el uso de la madera y el carbón para usos domésticos, ya que son las fuentes principales de energía. En la República Dominicana se ha evitado este problema prohibiendo totalmente esta práctica y subvencionando el gas propano, a modo de sustituto. Existen informes sobre la existencia de un comercio ilegal de carbón a través de la frontera. El problema de la deforestación hace que Haití sea muy vulnerable a la erosión de los suelos, que daña las infraestructuras, reduce la productividad de la tierra y dificulta aún más los esfuerzos de reforestación.



Town planning in Falmouth, Jamaica:
protecting the historical town as well as
planning the future development

*Ordenación urbana en Falmouth
(Jamaica): protección del centro histórico
y planificación del desarrollo futuro*

The town of Falmouth is the current capital of the parish of Trelawny, Jamaica. It was named after Falmouth, United Kingdom, the birthplace of Sir William Trelawny, Governor of Jamaica at the time the town was established in 1796. Falmouth was a flourishing port and market centre at a time when Jamaica was the world's leading sugar producer. It was described as a meticulously planned city from the start with wide streets on a rectangular grid, adequate water supply and public buildings. Falmouth, Jamaica received piped water before the City of New York.

The town is protected by the Jamaica National Heritage Trust as an architectural legacy for the people of Trelawny and by extension Jamaica with its Georgian-style buildings with features that are unique to Jamaica and the Caribbean referred to as Jamaican Vernacular Architecture.

The redevelopment of Falmouth took advantage of remote sensing technology in assisting to define the boundaries of the 'old' town and using current land use and information of the ecologically sensitive marshlands to demarcate the limits of the

expansion. This would also assist land reclamation activities required for the expansion of the town for socio-economic activities, siting of government buildings as well as the preservation of the historic town centre.

Sherene A. James-Williamson,
Lecturer and Museum Curator,
Department of Geography and Geology,
The University of the West Indies,
Mona Campus

La ciudad de Falmouth es la capital actual de la parroquia de Trelawny (Jamaica). Recibe su nombre por la ciudad de Falmouth, en el Reino Unido, lugar de nacimiento de Sir William Trelawny, Gobernador de Jamaica en 1796, año de la fundación de la ciudad. Falmouth se convirtió en un próspero puerto comercial cuando Jamaica pasó a ser el principal productor mundial de azúcar. Se describía como una ciudad meticulosamente planificada desde sus orígenes, con amplias calles dispuestas según una cuadrícula rectangular, abastecimiento adecuado de agua y edificios públicos. La ciudad de Falmouth, en Jamaica, dispuso de agua corriente antes que la ciudad de Nueva York.

La ciudad se encuentra bajo la protección del Fideicomiso del Patrimonio Nacional de Jamaica, que la considera un legado arquitectónico para el pueblo de Trelawny y, por extensión, para el de Jamaica. Sus edificios de estilo georgiano presentan características únicas en Jamaica y el Caribe, y constituyen lo que se ha denominado arquitectura autóctona jamaicana.

En los trabajos de rehabilitación de Falmouth se utilizó la tecnología de la teledetección para ayudar a definir los límites del casco histórico, así como la información sobre el uso actual de la tierra y los pantanos, siempre ecológicamente sensibles, para definir los

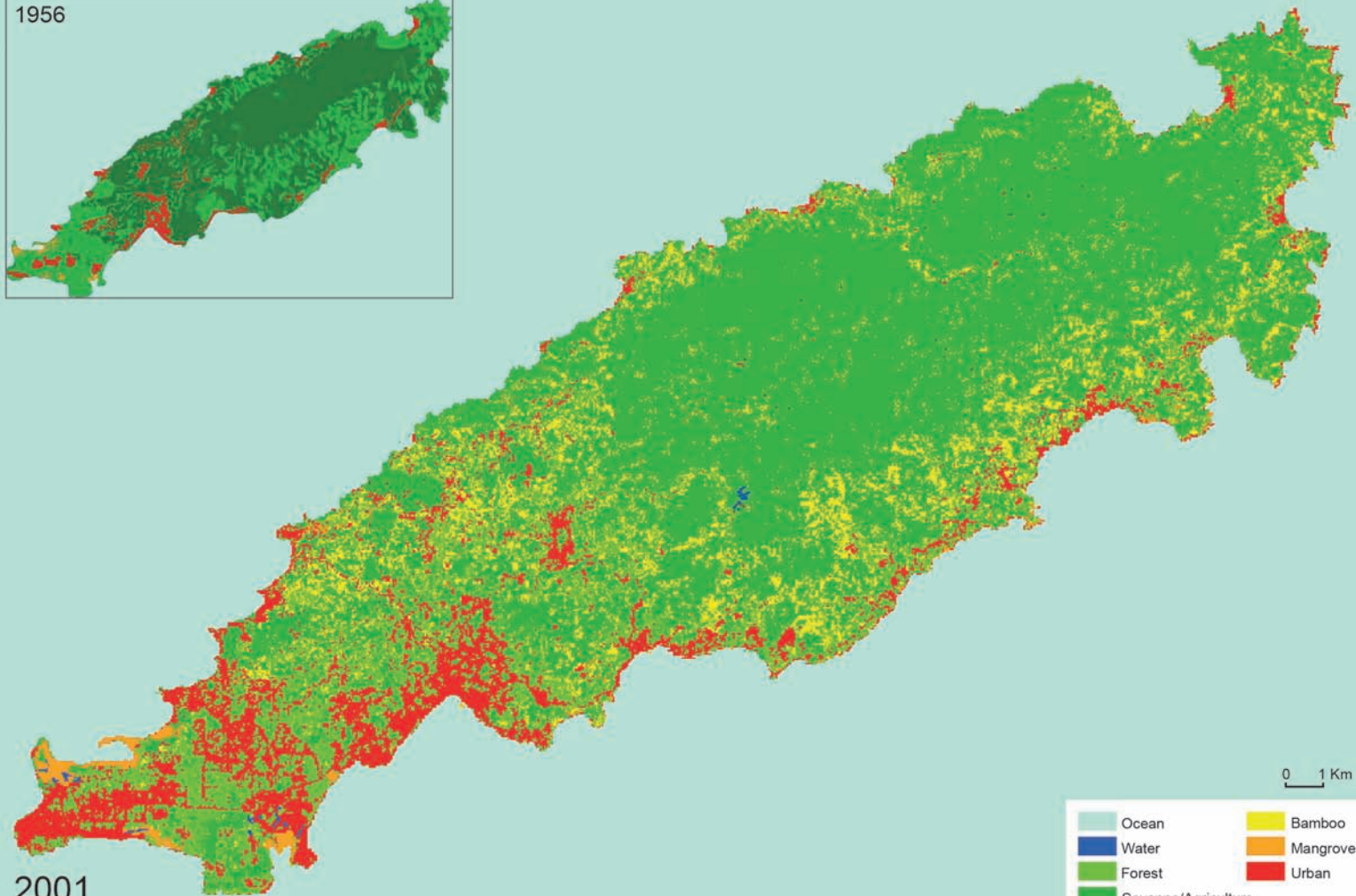
límites de la ampliación. Con ello se facilitaban las tareas de recuperación de las tierras necesarias para la expansión de la ciudad para otras actividades socioeconómicas, el emplazamiento de edificios públicos y la conservación del centro histórico de la ciudad.

*Sherene A. James-Williamson,
Profesora y conservadora de museo,
Departamento de Geografía y Geología,
Universidad de las Indias Occidentales,
Mona Campus*

1956



2001



0 1 Km



Alien invasive species in Tobago

Especies exóticas invasoras en Tobago

Bambusa vulgaris, otherwise known as the common bamboo is thought to be an invasive species to the Caribbean, most likely introduced by the Spaniards during their mid-19th century settlement. With an alarming growth rate during optimal conditions, this oversized grass out-competes native species by reducing available space and resources, ultimately changing the structure of the surrounding ecosystem significantly. This phenomenon is clearly discernable on the island of Tobago as studied through a comparison of remote sensing images from

1956 and 2001 and verified in the field. A significant amount of the island's land cover is composed of bamboo vegetation as seen in maps produced from satellite imagery whereas it is thought that prior to the Spanish introduction bamboo was non-existent.

Deanesh Ramsewak,
Senior Instructor (GIS, Remote Sensing),
Marine Sciences,
The University of Trinidad and Tobago

Se cree que la Bambusa vulgaris, también conocida como bambú común, es una especie invasora en el Caribe que muy posiblemente fue introducida por los españoles que colonizaron la isla a mediados del siglo XIX. Esta planta de gran tamaño posee una tasa de crecimiento alarmantemente elevada en condiciones óptimas y compite con las especies nativas, reduciendo el espacio y los recursos disponibles y, en última instancia, modificando considerablemente la estructura del ecosistema circundante. Este fenómeno, que se aprecia claramente en la isla de Tobago, ha sido estudiado mediante imágenes tomadas

por satélite, desde 1956 a 2001, y verificado sobre el terreno. Una parte importante de la cubierta vegetal de la isla está compuesta por bambú, como ponen de manifiesto los mapas generados con imágenes de satélite, mientras que antes de la llegada de los españoles, según se cree, el bambú era inexistente.

*Deanesh Ramsewak,
Instructor principal (SIG, Teledetección),
Ciencias del Mar,
Universidad de Trinidad y Tobago*



0 1 Km

Balancing conservation and development in Biosphere Reserves of Hispaniola

*Equilibrio entre conservación
y desarrollo en las reservas de biosfera
de la Hispaniola*

La Selle Biosphere Reserve

Legend: Green = Core Zone, Orange = Buffer Zone, Blue = Transition Zone

© USGS/NASA, Landsat 7 image 1999

La Selle Biosphere Reserve and the Jaragua-Bahoruco-Enriquillo Biosphere Reserve share an ecological continuum and contribute to the Caribbean Biological Corridor as an example of collaboration among countries. Biosphere reserves are sites established by countries and recognized under UNESCO's Man and the Biosphere Programme to promote sustainable development based on local community efforts and sound science.

La Selle was declared Haiti's first Biosphere Reserve in 2012. The area includes a large number of different ecosystems and protected

areas such as La Visite National Park which is one of the most important biodiversity sites of the country, and the forest reserve Forêt-des-pins, Haiti's biggest pine reserve dominated by the endemic pine specie *Pinus occidentalis*. Important cultural and architectural traditions are preserved in the historic city of Jacmel which is partially included in the Biosphere Reserve. In keeping with the model of UNESCO biosphere reserves, La Selle is characterized by protected core zones, clearly visible even in the 1999 imagery, a buffer zone, and a transition zone where 380,000 people live and practice sustainable economic activities related to

agroforestry, fisheries, tourism, recreation and crafts.

The Jaragua-Bahoruca-Enriquillo Biosphere Reserve is located in the southwest of the Dominican Republic. It includes three biogeographic regions in the Caribbean: the 'Hoya del Lago Enriquillo', the 'Sierra de Bahoruco' and the 'Procurrente de Barahona'. It comprises a great variety of natural ecosystems, from tropical highlands to karstic terraces with coastal, marine, islands and cays with a rich biodiversity and an important regional

endemism. The relief is sloped, covered by humid and cloud forests, caves and coastal wetlands with large mangrove complexes, mud banks and lagoons creating a complex of habitats supporting a high diversity of flora and fauna. The Biosphere Reserve aims to create alternative economic incomes for its inhabitants from renewal natural resources in agriculture production, organic agriculture, ecotourism, research facilities and basic services. It was designated in 2002.

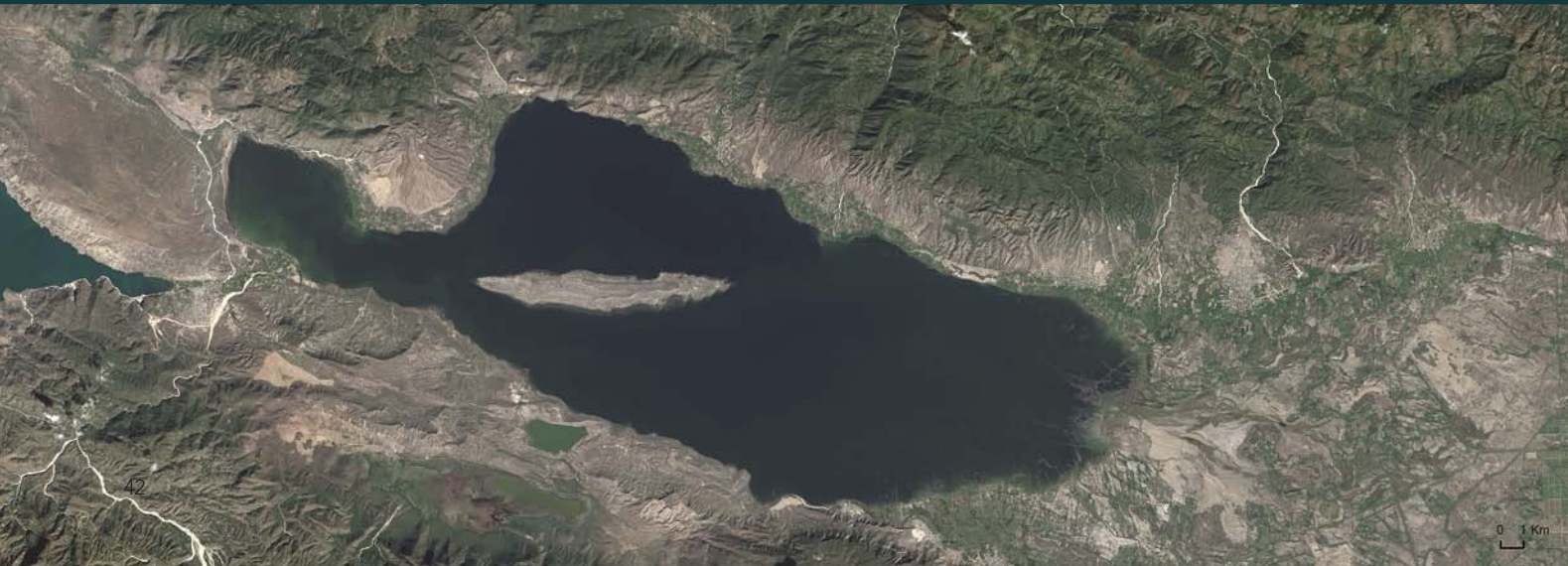
Las reservas de biosfera de La Selle y Jaragua-Bahoruco-Enriquillo constituyen un continuo ecológico, contribuyen al Corredor Biológico del Caribe y son ejemplo de colaboración entre países. Las reservas de biosfera son lugares determinados por los países y reconocidos por el Programa sobre el Hombre y la Biosfera de la UNESCO, con el fin de promover el desarrollo sostenible basado en los esfuerzos de las comunidades locales y en conocimientos científicos sólidos.

La Selle recibió la consideración de primera reserva de biosfera de Haití en 2012. En la región se encuentra un gran número de ecosistemas distintos y zonas protegidas, como el Parque Nacional La Visite, uno de los lugares

*más importantes del país por su diversidad, y la reserva forestal Forêt-des-pins, la mayor reserva de pinos de Haití, dominada por la especie endémica *Pinus occidentalis*. En la ciudad histórica de Jacmel, parcialmente incluida en la reserva de biosfera, se conservan tradiciones culturales y arquitectónicas importantes. La Selle se ajusta al modelo de reserva de biosfera de la UNESCO y se caracteriza por unas zonas centrales protegidas, claramente visibles incluso en las imágenes de 1999, una zona de separación y una zona de transición en la que viven 380.000 personas, quienes desarrollan actividades económicas sostenibles relacionadas con el sector agroforestal, la pesca, el turismo, el esparcimiento y la artesanía.*

La reserva de biosfera de Jaragua-Bahoruco-Enriquillo se encuentra en la parte suroccidental de la República Dominicana. Incluye tres regiones biogeográficas del Caribe: la "Hoya del Lago Enriquillo", la "Sierra de Bahoruco" y el "Procurrente de Barahona". Comprende una gran variedad de ecosistemas naturales, desde tierras altas tropicales a terrazas kársticas con zonas costeras, marinas, islas y cayos que presentan una rica biodiversidad e importantes endemismos regionales. El relieve es inclinado, recubierto de bosques húmedos y nubosos, numerosas

cuevas y zonas húmedas en las costas que albergan grandes y complejos manglares, terrenos fangosos y lagunas que crean hábitats complejos en los que prolifera una gran variedad de flora y fauna. La reserva de biosfera pretende proporcionar a los habitantes ingresos económicos alternativos, a partir de la renovación de los recursos naturales en la producción agrícola, la agricultura orgánica, el ecoturismo, las instalaciones de investigación y los servicios básicos. La zona fue declarada reserva de biosfera en 2002.



Climate change and unexplained flooding: the mystery of Lake Enriquillo, Dominican Republic

*Cambio climático e inundaciones
inesperadas: el misterio del lago Enriquillo
en la República Dominicana*

Lake Enriquillo, the largest lake in the Caribbean, is a saline lake located along the border with Haiti and the Dominican Republic and included within the Jaragua-Bahoruco-Enriquillo Biosphere Reserve. It has no outflow and incoming water is balanced only by evaporation. The water level has been rising for the past decade, nearly doubling in size to approximately 350 square kilometers, flooding adjacent towns and surrounding agricultural lands destroying fields of yuca, banana and cattle ranches. The reason for the rising water is

debated. Many researchers cite climate change with increasing rainfall in the region in recent years and milder temperatures reducing the surface evaporation rates. Others indicate this effect is compounded by deforestation which increases the sediments running into the lake, thereby raising the lakebed. Other possible contributing factors include particularly heavy storms in 2007 and 2008 and potential new underground springs. A detailed remote sensing study could be helpful in unraveling the causes.

El lago Enriquillo, el mayor de todo el Caribe, es un lago salino situado en la frontera entre Haití y la República Dominicana e integrado en la reserva de biosfera de Jaragua-Bahoruco-Enriquillo. No tiene caudal de salida, y el caudal de entrada se contrarresta con la evaporación. El nivel del agua se ha elevado en el último decenio, de forma que el lago casi ha doblado su extensión, hasta alcanzar aproximadamente 350 kilómetros cuadrados, y ha inundado poblaciones y campos cultivados próximos, echando a perder cultivos de yuca, plantaciones de plátanos y explotaciones ganaderas. La explicación de esta elevación del nivel del agua es motivo de debate. Muchos

investigadores la atribuyen al cambio climático, por el aumento de las precipitaciones en la región en los últimos años y unas temperaturas más suaves, que reducen los índices de evaporación en la superficie. Otros señalan que este efecto se combina con la deforestación, que provoca un aumento de los sedimentos que se vierten en el lago y elevan el nivel de su lecho. Entre otros factores posibles se encuentran las tormentas de 2007 y 2008, especialmente intensas, y posibles nuevas fuentes subterráneas. Un estudio basado en la teledetección podría ayudar a desvelar las causas.



Tracking coastal erosion threatening
infrastructure, cultural and natural heritage

*Seguimiento de la erosión costera
que amenaza las infraestructuras
y el patrimonio cultural y natural*

The capital of Jamaica, Kingston benefits from the seventh largest natural harbour in the world. Kingston Harbour is protected by a 29km long sand tombolo known as the Palisadoes peninsula which is located in the Palisadoes-Port Royal Protected Area. The Palisadoes peninsula also hosts an area designated as a wetland of international importance under the Ramsar Convention, the Norman Manley International Airport (one of Jamaica's two international airports), the fishing community of Port Royal, and the historic Fort of Port Royal at the end of the tombolo. The Palisadoes-Port Royal Protected Area and Ramsar Site is also home to various endangered and vulnerable species including the American

crocodile (*Crocodylus acutus*) and Hawksbill turtle (*Eretmochelys imbricata*). The historic city of Port Royal, an infamously wealthy pirate trading post, was dramatically destroyed by an earthquake in 1692 when the town sank into the sea. The Underwater City of Port Royal and its environs, a national heritage site, is currently on the tentative list for World Heritage Status as a 'catastrophic site', a place which was devastated by natural disaster and in the act of destruction was preserved *in-situ*.

The National Environmental Planning Agency is tracking historical shoreline changes along the Port Royal Coast, at the western tip of the Palisadoes peninsula, in order to plan for the

protection of the diverse valuable resources it hosts. The shoreline change analysis was performed using digitized shorelines from the Google Earth archival images for the years 2006, 2009, 2010 and 2012. Transects were overlaid on these images at 100m intervals perpendicular to the shorelines from the baseline being the main road leading to the town. An uncertainty value of 6m was assumed for the digitized shorelines to compensate for precision and accuracy errors associated with the digitization. Analysis of the data

indicates that the beach showed minimal shoreline change over the timeline assessed. The erosion rate was calculated at 0.16m/yr. Along 56 transects, the maximum erosion was calculated at 68m and the maximum accretion at 14.2m. This method has also been used at several locations around the island to estimate shoreline change.

Sean Green and Monique Curtis,
National Environment and Planning Agency,
Kingston, Jamaica

*La capital de Jamaica, Kingston, cuenta con el séptimo puerto natural mayor del mundo. El puerto está protegido por un tómbolo de arena de 29 km de longitud llamado península Palisadoes, situado en la zona protegida de Palisadoes-Port Royal. En la península se encuentra una zona considerada humedal de importancia internacional por la Convención de Ramsar, el aeropuerto internacional Norman Manley (uno de los dos aeropuertos internacionales de Jamaica), la comunidad pesquera de Port Royal y el histórico Fuerte de Port Royal al extremo del tómbolo. La zona protegida de Palisadoes-Port Royal y el sitio Ramsar albergan algunas especies vulnerables y amenazadas, como el cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) y la tortuga*

*carey (*Eretmochelys imbricata*). La ciudad histórica de Port Royal, lugar de más que dudosa reputación por el intenso comercio pirata, quedó prácticamente destruida durante el terremoto de 1692, cuando la ciudad se hundió en el mar. La ciudad submarina de Port Royal y sus alrededores forman parte del patrimonio nacional y se encuentran en la lista provisional para adquirir la condición de “lugar catastrófico” del Patrimonio de la Humanidad. Es un lugar arrasado por una catástrofe natural que, por su destrucción, quedó conservado in situ.*

El Organismo Nacional de Planificación Ambiental hace el seguimiento de los cambios en la zona costera de Port Royal, en el extremo

occidental de la península de Palisadoes, con el fin de planificar la protección de los múltiples recursos valiosos que alberga. En el análisis de los cambios experimentados por el litoral se utilizaron líneas de costa digitalizadas a partir de imágenes de archivo de Google Earth correspondientes a los años 2006, 2009, 2010 y 2012. Sobre estas imágenes se colocaron líneas transversales a intervalos de 100 m, perpendiculares a la costa, tomando como línea de referencia la carretera principal que lleva a la ciudad, y se admitió una incertidumbre de hasta 6 m en las líneas de costa digitalizadas, para compensar los errores de precisión y

exactitud asociados a la digitalización. El análisis de los datos muestra que el litoral ha sufrido cambios mínimos durante el período considerado. La tasa de erosión se fijó en 0,16 m/año. En las 56 líneas transversales, se calculó que la erosión máxima era de 68 m y la acreción máxima de 14,2 m. Este método también se ha utilizado en otros lugares de la isla, para hacer estimaciones de los cambios en las costas.

Sean Green y Monique Curtis,
Organismo Nacional de Planificación Ambiental,
Kingston (Jamaica)



Environmental and climate change

Cambios ambientales y cambio climático

Monción, Dominican Republic, before and after the construction of the dam (2000 versus 2002)

© USGS/NASA, Landsat 7 image 2000

© USGS/NASA, Landsat 7 image 2002



Interrelated challenges of soil conservation,
erosion, and energy production at
Lake Péligre, Haiti

*Problemas interrelacionados
en torno a la conservación del suelo,
la erosión y la producción de energía
en el lago Péligre (Haití)*

Lake Péligre, the largest reservoir in Haiti, was created in 1956 with the damming of the Artibonite river for the construction of the Péligre Hydroelectric Dam. However, in recent decades the installation has become less efficient in supplying energy to Port-au-Prince as a result of sediment deposition in the lake. In addition, the siltation caused by erosion in the Artibonite watershed, has had a major

negative impact on fisheries in the lake. Poor soil conservation practices by small farmers in the river basin have left roughly 1/3 of the lake drainage basin bare soil, 1/3 sparsely cultivated and only 1/3 tree and shrub covered. In the 2010 image, the narrowing of the Artibonite can be clearly seen, the silt-laden water a pale green, and much of the surrounding hillsides bare.

El lago Péligre, el mayor depósito de agua de Haití, se creó en 1956, a raíz de la edificación de un dique en el río Artibonito para la construcción de la presa hidroeléctrica de Péligre. Sin embargo, en los últimos años esta central ha perdido eficiencia en el suministro de energía a Port-au-Prince, como resultado del depósito de sedimentos en el lago. Además, la sedimentación provocada por la erosión en la cuenca del Artibonito ha tenido un gran impacto negativo en las actividades pesqueras en el lago. Las prácticas incorrectas

de conservación del suelo llevadas a cabo en las pequeñas explotaciones agrícolas en dicha cuenca han transformado aproximadamente un tercio del área de captación en tierras sin cubierta, otro tercio en terrenos escasamente cultivados y solo otro tercio ha conservado la cubierta de árboles y arbustos. En la imagen de 2010 se aprecia con claridad el estrechamiento del Artibonito, el agua cargada de sedimentos en verde claro y buena parte de las laderas de las colinas sin cubierta vegetal.



Estuaries on the front line:
the case of the Delta of Artibonite, Haiti

*Estuarios en el frente:
el caso del delta del Artibonito (Haití)*

Estuaries around the world are threatened by impacts of climate change such as sea-level rise and increased intensity storms at the same time that man-made structures limit their ability to act as buffers to storm events, reducing potential flood events, and host nurseries for much marine life. While the mega deltas of Southeast Asia have been identified by the IPCC as the regions most likely to be impacted by climate change, smaller deltas worldwide

will also be affected. In this 2013 image, the Artibonite River can be clearly seen winding its way to the sea on the west coast of Haiti. Just at its mouth, extensive salt works are evident. In other parts of the estuary, there are extensive agricultural fields and human settlements. Not only are these low-lying developments at increased risk of flooding, salinity intrusion due to reduced freshwater flow and rising sea-level will threaten the existing agricultural practices.

Los estuarios de todo el mundo están amenazados por los efectos del cambio climático, como ocurre, por ejemplo, con la elevación del nivel del mar y la intensificación de las tormentas, al tiempo que las estructuras de origen humano limitan su capacidad de amortiguar las tormentas, reducir posibles inundaciones y albergar criaderos de la vida marina. Los enormes deltas del Asia sudoriental han sido considerados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático como regiones con una gran probabilidad de experimentar las consecuencias del cambio climático, pero los

pequeños deltas de todo el planeta también se verán afectados. En esta imagen de 2013 puede verse claramente que el río Artibonito va retorciendo su cauce hacia el mar en la costa occidental de Haití. En su desembocadura se aprecian extensas acumulaciones de sal. En otras partes del estuario se observan grandes campos de cultivos y asentamientos humanos. Esta ocupación del territorio a tan baja cota no solo está sujeta a un gran riesgo de inundación, sino que la infiltración de aguas salinas a causa del flujo reducido de agua dulce y la elevación del nivel del mar constituirán una amenaza para la agricultura.



0 1 Km

Mangrove changes in the Caroni Swamp, Trinidad and Tobago

Cambios en los manglares del Pantano Caroni (Trinidad y Tobago)

Caribbean mangroves have been affected by anthropogenic factors in recent times and are faced with the projected effects of sea-level rise in the not too distant future. One case study illustrating changes within mangroves within the recent past comes out of Trinidad and Tobago situated at the southeastern end of the West Indian archipelago. High resolution satellite imagery coupled with GIS technology and ground measurements were used to estimate recent baseline coverage of mangrove for both islands. Historical changes for selected areas were also examined using archived aerial photography incorporated into a GIS. These

studies reveal that while land use changes and erosion contribute significantly to the decline of mangroves and wetlands, there have been instances where existing mangrove colonies have expanded their coverage as a result of newly available habitat.

Deanesh Ramsewak,
Senior Instructor (GIS, Remote Sensing),
Marine Sciences,
The University of Trinidad and Tobago

Los pantanos del Caribe se han visto afectados por factores antropogénicos en épocas recientes y tendrán que afrontar los efectos previstos de la elevación del nivel del mar en un futuro no muy lejano. Un estudio de caso que ilustra los cambios que se han producido recientemente en los manglares lo proporciona el de Trinidad y Tobago, en el extremo suroriental del archipiélago de las Indias Occidentales. Se han utilizado imágenes de satélite de alta resolución y tecnología SIG, junto con mediciones en tierra, para estimar la extensión de referencia reciente de los manglares de ambas islas. También se han analizado los cambios históricos que se han producido en determinadas zonas, utilizando

para ello fotografías aéreas archivadas e integradas en un SIG. Estos estudios muestran que, si bien los cambios en el uso de la tierra y la erosión contribuyen de forma destacada al retroceso de los manglares y los humedales, también se dan ejemplos de colonias de manglares cuya extensión ha aumentado como consecuencia de los nuevos hábitats disponibles.

*Deanesh Ramsewak,
Instructor principal (SIG, Teledetección),
Ciencias del Mar,
Universidad de Trinidad y Tobago*



Mangrove change in Falmouth, Jamaica

*Cambios en los manglares de Falmouth
(Jamaica)*

© USGS/NASA, Landsat 7 image 2000

© USGS/NASA, Landsat 8 image 2014

The National Environment and Planning Agency, Jamaica, conducted desktop analysis using satellite imagery and land use maps to determine the change in mangrove forest coverage in the parish of Trelawny located in the north eastern section of the island. The desktop analysis involved the comparison of geospatial data products produced from satellite imagery by The Nature Conservancy eco-regional project and data digitized from imagery extracted from Google Earth (2007–2010).

The change in wetland area is clearly visible on these Landsat images. A 15% decline in the total mangrove area along the coast of Trelawny was documented in the desktop analysis. To determine the accuracy of the data collated ground-truthing assessments were conducted in 2012 with the aid of a handheld GPS and a camera with GPS functionality. The total area of wetlands verified in this assessment was calculated as 980,025 hectares. This represents an increase of 42.05 hectares (4.48%) when compared to the area calculated from Google Earth images (2007-2010).

The ground-truthing assessment revealed the presence of emergent mangrove stands that were not previously observed in the desktop analysis. This discovery highlights the limitations associated with the sole use of satellite imagery to conduct mapping exercises and that ground-truthing should be conducted where possible to strengthen the veracity of the data collected from the use of satellite imagery.

Monique Curtis and Sean Green,
National Environment and Planning Agency
Kingston, Jamaica

El Organismo Nacional de Planificación Ambiental de Jamaica llevó a cabo un análisis documental de imágenes de satélite y mapas de uso de la tierra, con el fin de determinar los cambios en la extensión de los manglares de la parroquia de Trelawny, en la parte nororiental de la isla. En dicho análisis se compararon productos de datos geoespaciales de imágenes de satélites obtenidas por el proyecto ecosistémico regional The Nature Conservancy y datos digitalizados de las imágenes obtenidas por Google Earth (2007–2010).

Los cambios en la zona de humedales se pueden ver claramente en estas imágenes Landsat. Se observó un retroceso del 15% de la superficie total de la zona de manglares en la costa de Trelawny. Para determinar la exactitud de los datos recopilados, en 2012 se procedió a una verificación sobre el terreno mediante GPS manual y una cámara dotada de GPS. Se calculó que la superficie total de los manglares verificados era de 980.025 hectáreas, lo que representa un aumento de 42,05 hectáreas (4,48%) con respecto a la superficie calculada a partir de las imágenes de Google Earth (2007-2010).

La verificación sobre el terreno puso de manifiesto la presencia de masas emergentes de manglares que no se habían observado en el análisis documental. Esta constatación subraya las limitaciones inherentes al uso exclusivo de imágenes de satélite y la conveniencia de realizar verificaciones sobre el terreno, cuando sea posible, para reforzar la veracidad de los datos recopilados a partir de las imágenes de satélites.

*Monique Curtis y Sean Green,
Organismo Nacional de Planificación Ambiental,
Kingston (Jamaica)*



0 1 Km

Climate change impact on Caribbean corals

*Repercusiones del cambio climático
en las formaciones coralinas del Caribe*

Coral reefs around the world are being affected by rising ocean temperatures. In 2010 the effects of the warmer water were clearly seen in the reefs surrounding the island of Tobago in the Caribbean, where a significant amount of bleaching (essentially whitening of the coral due to loss of algae living in their tissues) took place. In one particular study the recovery of different coral taxa were monitored post warming event. Changes in coral types during and after warming events help coral reef managers to develop adaptive techniques for responding to mass bleaching. In addition to examining specific coral responses, another method of management is to develop early warning systems. Early warning systems can

help predict the onset of a bleaching event and also aid rehabilitation and recovery of a reef post warming event. Satellite data can help in developing these early warning systems. Thermal infrared satellite data provides an indication of the ocean temperature which can be very useful in helping reef custodians predict the onset of bleaching events. Other multispectral and hyper-spectral type imagery can be useful in developing up-to-date reef habitat maps.

Deanesh Ramsewak,
Senior Instructor (GIS, Remote Sensing),
Marine Sciences,
The University of Trinidad and Tobago

El aumento de la temperatura de los océanos afecta a los arrecifes de coral en todo el mundo. En 2010 los efectos de las temperaturas más cálidas se manifestaron con nitidez en los arrecifes alrededor de la isla de Tobago en el Caribe, donde se observó un descoloramiento considerable (esencialmente blanqueo del coral debido a la pérdida de algas que viven en sus tejidos). En un estudio específico se hizo el seguimiento de la recuperación de distintos taxones de coral después de situaciones de aumento de la temperatura. Los cambios en los tipos de coral durante y después de estas situaciones ayudan a los gestores de los arrecifes coralinos a desarrollar técnicas adaptadas para hacer frente al descoloramiento. Además del análisis de las respuestas específicas de los corales, otro método consiste en prever sistemas de alerta temprana. Dichos sistemas pueden

ayudar a predecir el inicio del descoloramiento y contribuir a la rehabilitación y recuperación de un arrecife después de una situación de aumento de temperatura. Los datos aportados por los satélites pueden facilitar el desarrollo de estos sistemas de alerta temprana. Los datos de satélites térmicos de infrarrojos proporcionan una indicación de la temperatura del océano, que puede ser de gran utilidad para ayudar a los responsables de la conservación de los arrecifes a predecir el inicio del proceso de descoloramiento. Las imágenes multiespectrales e hiperespectrales también pueden ser útiles en el trazado de mapas actualizados de hábitats en los arrecifes.

*Deanesh Ramsewak,
Instructor principal (SIG, Teledetección),
Ciencias del Mar, Universidad de Trinidad y Tobago*

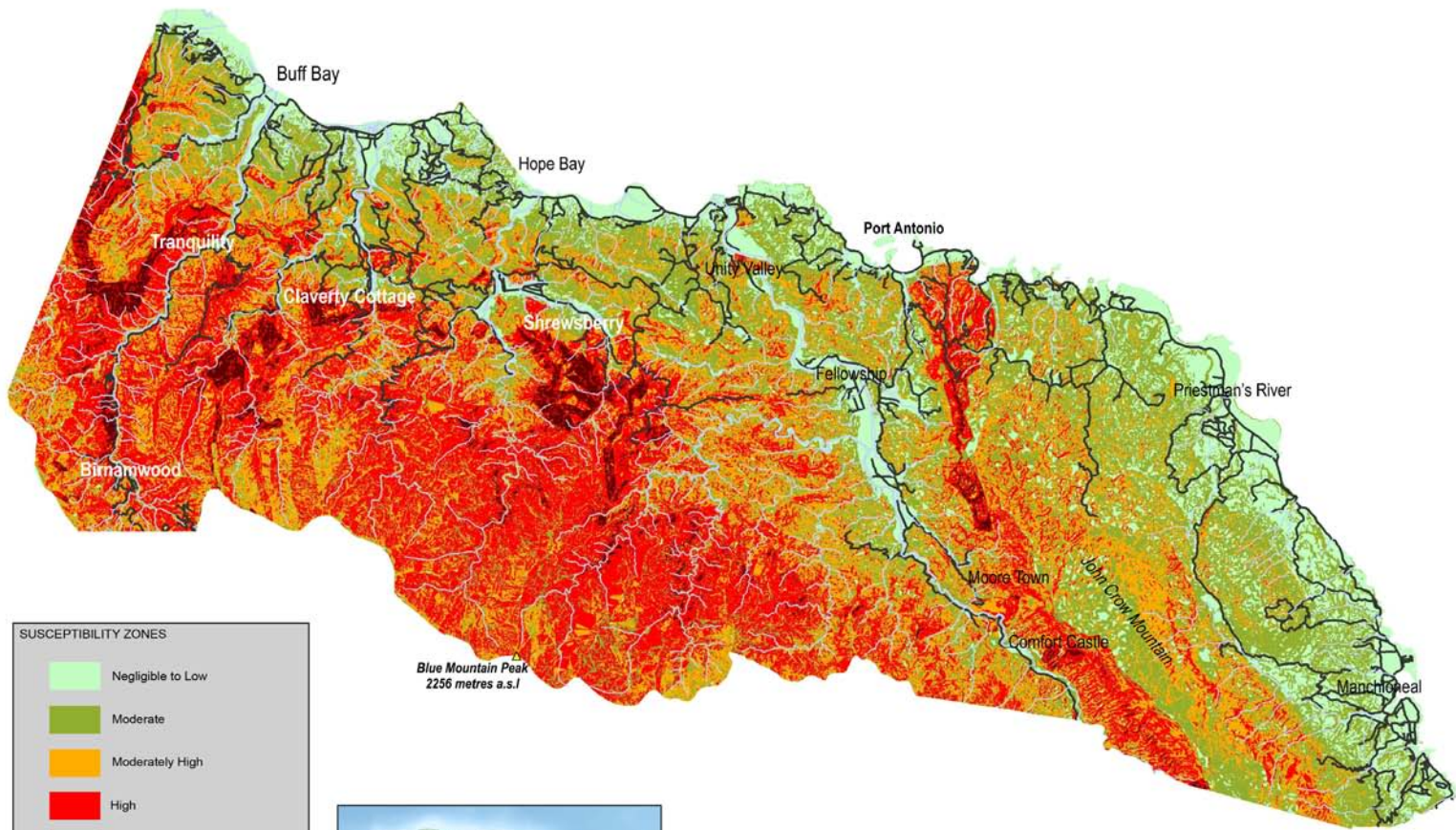


Disasters

Catástrofes

3D model of Kingston: the capital of Jamaica vulnerable to heavy storms, hurricanes and sea-level rise because of low altitude

© USGS/NASA 2013, Landsat 8 image



Blue Mountain Peak
2256 metres a.s.l

SUSCEPTIBILITY ZONES

- Negligible to Low
- Moderate
- Moderately High
- High
- Very High

— Roads
— Rivers

0 1 Km



Landslide susceptibility assessment and zonation in Portland, Jamaica

Evaluación y zonificación de la susceptibilidad a deslizamientos en Portland (Jamaica)

Portland is known for frequent landslides, triggered by rainfall or earthquake activity. Landslide activity results in losses amounting to millions of dollars and numerous disaster-related deaths. In response to this continuous problem, the Government of Jamaica undertook a landslide susceptibility assessment of Portland parish. Medium-scale (1:50,000) landslide susceptibility analysis utilizing a combination of field and statistical techniques is used to generate a landslide susceptibility map for the parish. This model predicts where landslides are likely to occur with increasing susceptibility represented by different colours. The model is based on an inventory of known landslides. Maps are combined to compute scores for the factors causing landslides. These

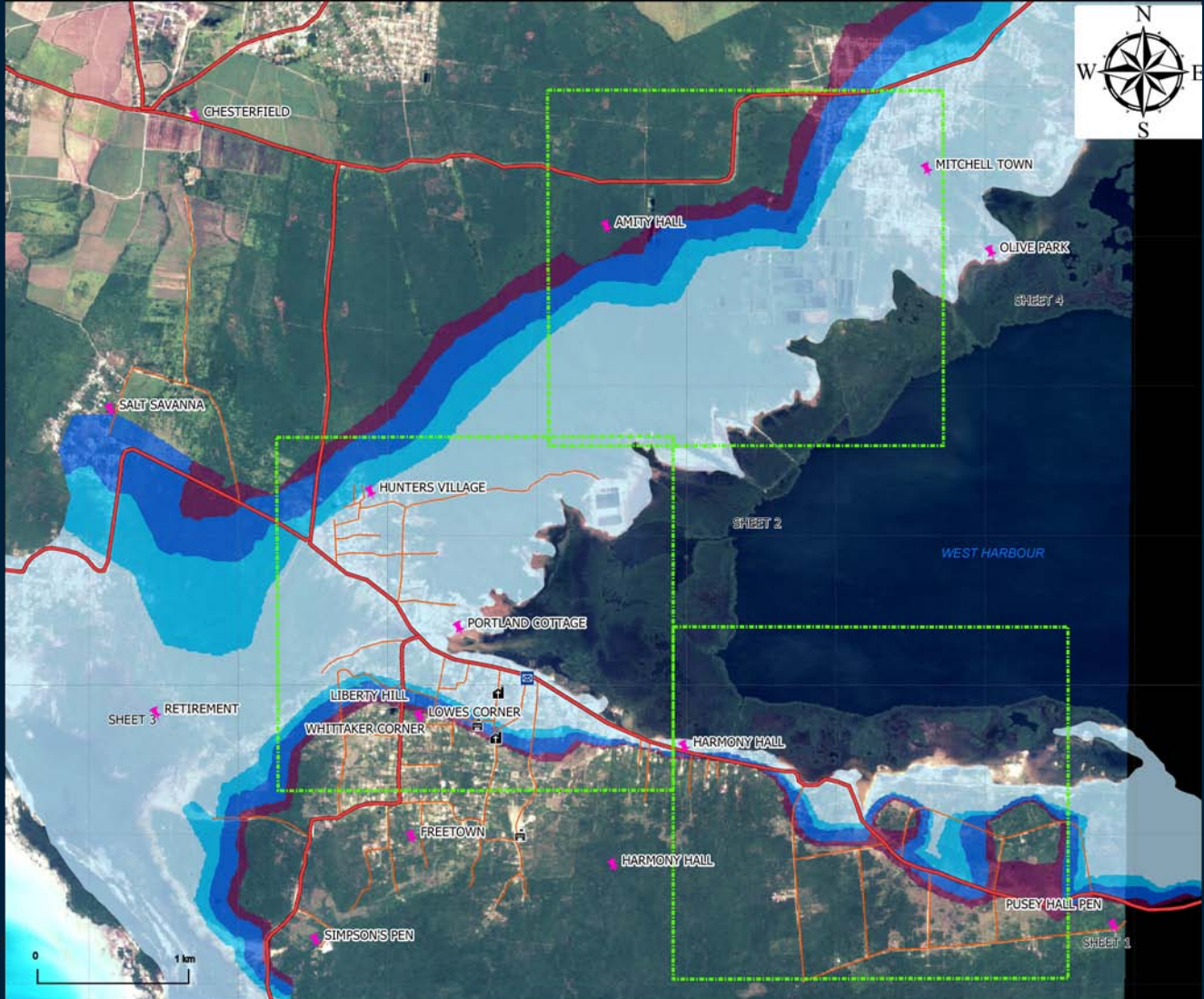
factors originate from topography and geology. GIS software is used for the map combination and statistical analyses. Field experience is introduced where statistical methods fail to predict the natural environment. The map is tested using known landslides not introduced in the analysis along with the experience of landslide experts. The susceptibility map predicts existing landslides with approximately 80% accuracy; an acceptable degree of confidence. It may be employed as a tool for rural and physical planning, and for guiding engineering works, building and infrastructure developments, and importantly natural hazard mitigation.

Suresh Bhalai, Mines and Geology Division
University of West Indies

Portland es conocida por los frecuentes deslizamientos de tierras que allí se producen, motivados por las lluvias o la actividad sísmica. Los corrimientos de tierras generan pérdidas de millones de dólares y numerosas víctimas. Para hacer frente a este problema permanente, el Gobierno de Jamaica realizó una evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos en la parroquia de Portland. El análisis de la susceptibilidad a deslizamientos a escala media (1: 50.000) combina técnicas estadísticas y otras sobre el terreno, que sirven para generar un mapa de susceptibilidad a deslizamientos en la zona. Con este modelo se pueden predecir los corrimientos de tierra más probables, a los que se asignan colores distintos en función de su probabilidad. El modelo se basa en un inventario de deslizamientos ya conocidos. Los mapas se combinan con el fin de atribuir valores concretos a cada uno de los factores que provocan

los corrimientos. Dichos factores tienen su origen en la topografía y la geología. En la combinación de los mapas y los análisis estadísticos se utilizan programas informáticos de SIG. La experiencia adquirida sobre el terreno es crucial cuando los métodos estadísticos no consiguen predecir el entorno natural. Para contrastar el mapa se utilizan deslizamientos no contemplados en el análisis, así como la experiencia de expertos en la materia. El mapa de susceptibilidad predice los corrimientos ya ocurridos con una exactitud de aproximadamente el 80%, cifra que representa un nivel de confianza aceptable. Puede utilizarse como herramienta para la planificación rural y física, los trabajos de ingeniería, la construcción y las obras públicas y, lo que es aún más importante, para la mitigación de riesgos naturales.

Suresh Bhalai, División de Minas y Geología
Universidad de las Indias Occidentales



Storm surge Hazard Map for Portland Cottage, Jamaica

*Mapa de riesgo de marejada ciclónica
en Portland Cottage (Jamaica)*

Portland Cottage is a rural coastal settlement in the parish of Clarendon. The community has a history of repeated severe damage from hurricane winds and storm surge, just like much of the coastal area of Jamaica. Due to its low elevation, the community is particularly susceptible to the risk of storm surge. Recognizing the need to be better prepared to manage and reduce the impacts of coastal hazards the Government of Jamaica had a vulnerability assessment prepared for the community in 2009. This assessment produced detailed multi-hazard maps which were used along with existing socio-economic data to identify locations with varying levels

of vulnerability. The map shows the impact of storm surge on the community for the 25, 50, 100 and 150 year return periods. The main impact zone lies along the main road fringing the wetlands and community roads perpendicular to the main road. It shows that sixty-two per cent of the housing stock fell within the impact zone. For the 150-year return period storm, it was estimated that 1,659 residents would be impacted, while the population in 2009 was estimated to be 2,700. This is marginally higher than the population impacted by the 25-year return period.

While the vulnerability of the Portland Cottage community to storm surge is exacerbated by the reluctance of some residents to relocate out of the main flood zones, efforts have been made to mitigate against these and other hazards. Emanating from the assessment, recommendations to address the vulnerability include relocation of residents to nearby communities that are not exposed to the hazards, increasing hazard awareness, and equipping residents with knowledge and skills to take appropriate mitigation steps.

Nadine Brown,
Planning Institute of Jamaica

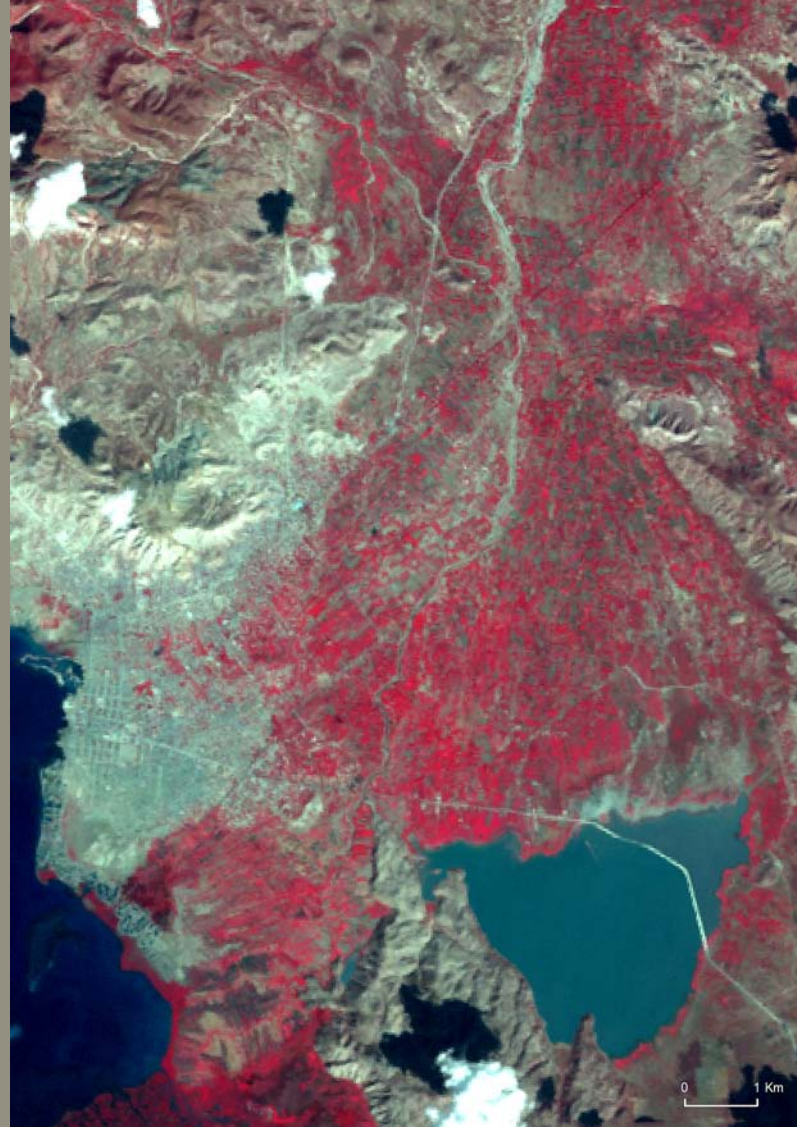
Portland Cottage es una localidad costera de la parroquia de Clarendon. A lo largo de su historia, el lugar ha sufrido importantes daños como consecuencia de vientos huracanados y marejadas ciclónicas, como sucede en la mayor parte de la costa de Jamaica. Debido a su escasa elevación, la localidad es especialmente vulnerable al riesgo de marejada ciclónica. Tras reconocer la necesidad de contar con una mayor preparación para gestionar y reducir los efectos de los posibles peligros en la costa, en 2009 el Gobierno de Jamaica llevó a cabo una evaluación de la vulnerabilidad de la zona. La evaluación dio como resultado unos mapas multirriesgo detallados que, junto con otros datos socioeconómicos, sirvieron

para conocer las distintas vulnerabilidades de diversos puntos de la zona. El mapa muestra los efectos de la marejada ciclónica en la localidad para períodos de recurrencia de 25, 50, 100 y 150 años. La principal zona de impacto se sitúa a lo largo de la carretera que bordea los humedales y de las vías perpendiculares a la carretera principal. Se aprecia que el 62% de las viviendas se encuentra dentro de esta zona. En el caso de tormentas con período de recurrencia de 150 años, se estimó que 1.659 residentes sufrirían sus efectos, cuando en 2009 la población era de 2.700 personas. Es una cantidad ligeramente superior a la de la población potencialmente afectada en el caso de un período de recurrencia de 25 años.

La vulnerabilidad de la localidad de Portland Cottage empeora por el hecho de que algunos de sus residentes son reacios a trasladar sus viviendas fuera de las principales zonas inundables, pero se han realizado esfuerzos para mitigar estos y otros peligros. Tras la evaluación se propusieron varias recomendaciones sobre vulnerabilidad, entre las que se incluye trasladar a los residentes a puntos cercanos, donde no estén expuestos

a estos peligros, mejorar la concienciación sobre los riesgos y dotar a los residentes de los conocimientos y las capacidades que les permitan mitigar adecuadamente las distintas situaciones.

*Nadine Brown,
Instituto de Planificación de Jamaica*



Urban impact of tropical storms: Flooding in Gonaïves, Haiti

*Repercusiones urbanas de las tormentas
tropicales: inundaciones en Gonaïves
(Haití)*

© USGS/NASA, Landsat 7 image 1999

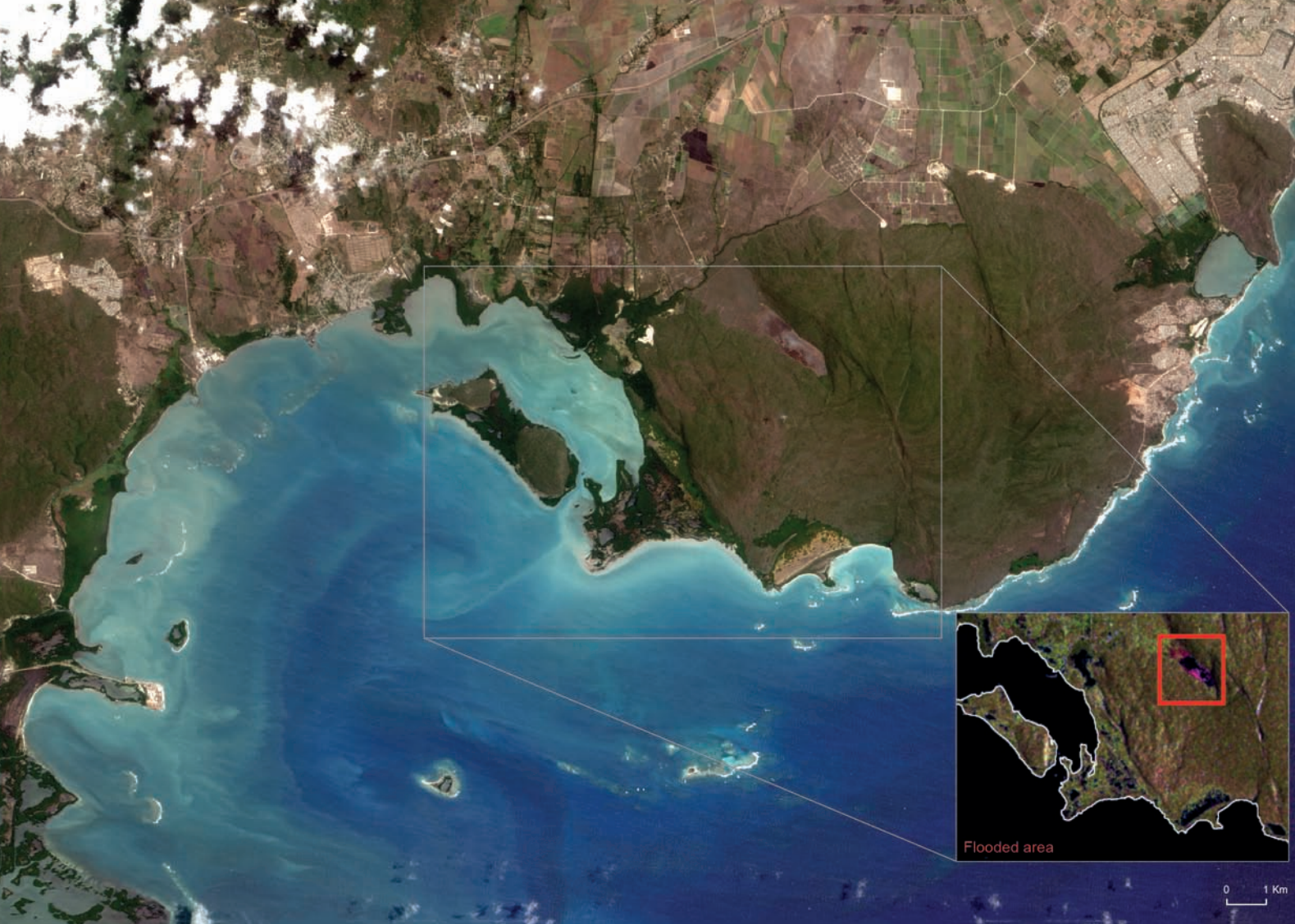
© USGS/NASA, Landsat 5 image 2009

Gonaïves, a city in northeast Haiti, is frequently flooded as water runs off the mountainsides into the city and the neighboring low-lying savanna, Savane Jong. In September 2004, 2,500 people died in flooding and mudslides brought on by the torrential rains of Tropical Storm Jeanne. Disaster was again unleashed in September 2008 in flooding from Storms Gustave, Hanna and Ike. In both periods Savane Jong flooded covering the principle road to Port-au-Prince, disrupting the delivery

of emergency supplies. These false-color images - where plant covered land is red, water is blue and reflective surfaces in the city and exposed earth are white to gray - from 1999 and 2009 show some dramatic changes: besides the growing city and road network, the 2009 image shows scars on the hillsides where mud and water poured down the previous year destroying vegetation.

Gonaïves es una ciudad al noreste de Haití que se inunda con frecuencia cuando el agua procedente de las montañas se precipita sobre la ciudad y la sabana de escasa altitud que la circunda, Savane Jong. En septiembre de 2004, murieron 2.500 personas a causa de las inundaciones y los aludes de barro como consecuencia de las lluvias torrenciales de la tormenta tropical Jeanne. La catástrofe volvió a producirse en septiembre de 2008, con las inundaciones de las tormentas Gustave, Hanna e Ike. En ambas ocasiones se inundó la sabana, y con ella la carretera principal que lleva a Port-au-Prince, de forma que quedó interrumpido

el transporte de los equipos de emergencia. En estas imágenes tomadas en 1999 y 2009 en falso color -en las que la vegetación se ve de color rojo, el agua de color azul y las superficies reflectantes de la ciudad y otras zonas expuestas, con tonalidades del blanco al gris- pueden verse algunos cambios llamativos: además del crecimiento de la ciudad y de la red vial, en la imagen de 2009 se aprecian hendiduras en las laderas de las montañas, allí por donde el año anterior fluyeron el barro y el agua, arrasando la vegetación a su paso.



Flooded area

0 1 Km

Mapping of tropical storm impacts for disaster response and recovery efforts

Cartografía del impacto de las tormentas tropicales, para responder a las catástrofes y contribuir a los esfuerzos de reconstrucción

In September 2010 Tropical Storm Nicole caused extensive damage in Jamaica during the Atlantic hurricane season. On September 29 the storm dropped over 100 mm of rain within a 12 hour period on many areas across Jamaica, causing extensive flooding and landslides. The Jamaican National Emergency Response GIS Team (NERGIST) collected georeferenced spatial data post Tropical Storm Nicole to support disaster response, recovery efforts and reporting tasks. The Office of Disaster Preparedness and Emergency Management being a part of the Caribbean Flood Project through an initiative coordinated by the Canadian Space Agency and NASA,

used space-based information to identify areas of flooding. Images were captured before and after the passage of the tropical storm. A change detection procedure was performed on the 'before' image from July 22 and the 'after' image from October 2010. The viewing angles of both images were sufficiently close for a meaningful comparison. The spatial resolution of the imagery is 10 meters. The figure illustrates flood detection along the south coast of Jamaica after the passage of the Tropical Storm, using RADARSAT.

Mark Codling,
National Emergency Response GIS Team

En septiembre de 2010 la tormenta tropical Nicole provocó daños considerables en Jamaica durante la temporada de huracanes atlánticos. El 29 de septiembre, en muchos lugares de Jamaica, cayeron más de 100 mm de agua en 12 horas, lo que dio lugar a inundaciones y deslizamientos de tierra. El Equipo nacional de SIG de respuesta ante situaciones de emergencia en Jamaica (NERGIST) recopiló datos espaciales georreferenciados tras el paso de la tormenta tropical Nicole, que permitieron facilitar la respuesta a la catástrofe y contribuir a los esfuerzos de reconstrucción y de elaboración de informes. Como el Organismo de Preparación en Casos de Desastre y Gestión de Emergencias forma parte del Proyecto de Inundaciones en el Caribe, a través de una iniciativa coordinada por la Agencia Espacial del Canadá y la NASA, pudo

utilizar información procedente de satélites para determinar las zonas afectadas por las inundaciones. Las imágenes se tomaron antes y después del paso de la tormenta tropical. Se procedió a un cambio en el procedimiento de detección en la imagen “anterior”, del 22 de julio, y en la “posterior”, de octubre de 2010. Los ángulos de visión en ambas imágenes eran lo suficientemente parecidos como para que la comparación tuviese sentido. La resolución espacial de las imágenes es de 10 metros. La figura, para la que se ha utilizado RADARSAT, ilustra la detección de la inundación a lo largo de la costa meridional de Jamaica después del paso de la tormenta tropical.

*Mark Codling,
Equipo nacional de SIG de respuesta
ante situaciones de emergencia*



Post-disaster refugees on the hills
outside of Port-au-Prince, Haiti

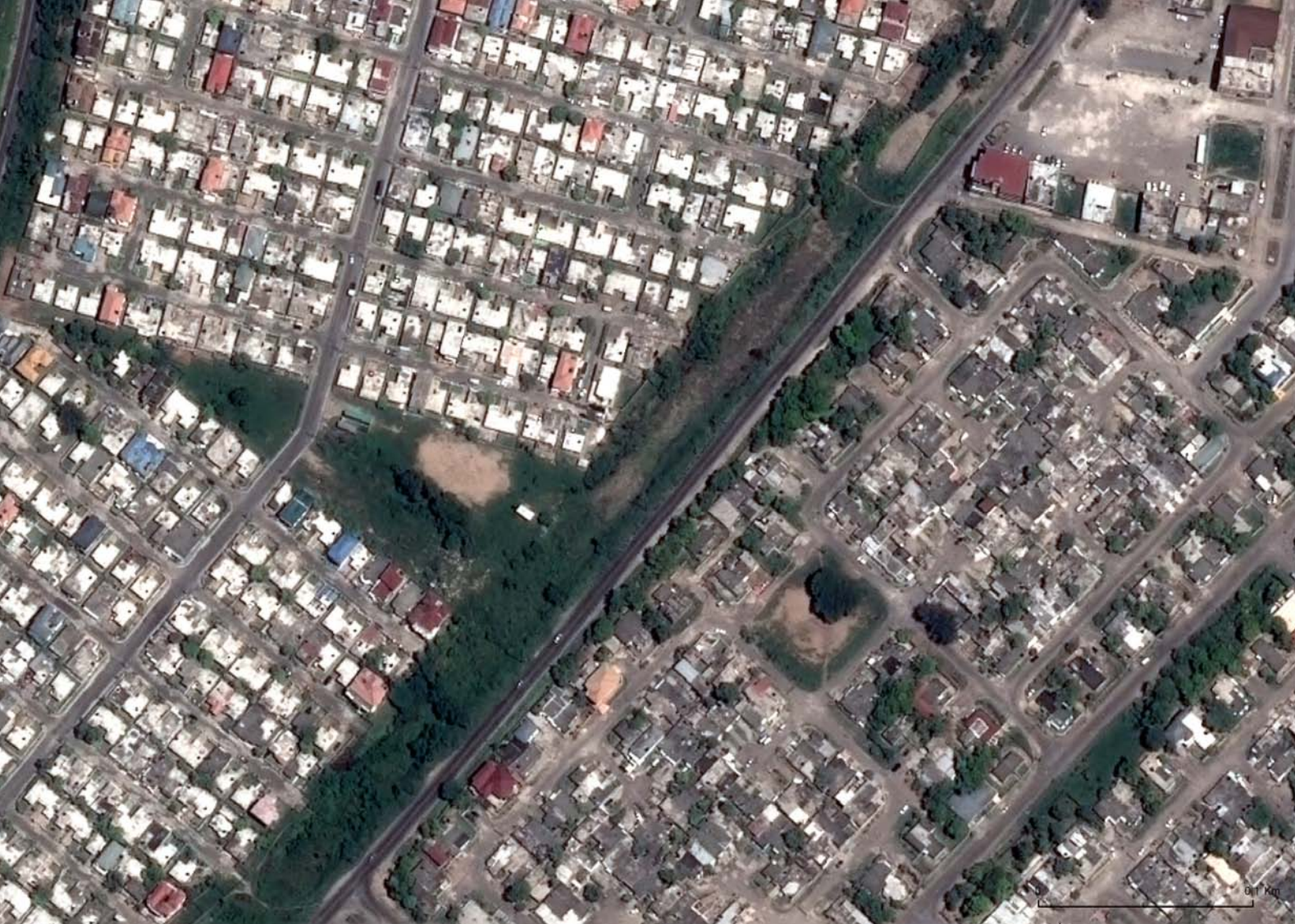
*Refugiados después de la catástrofe
en las colinas de las afueras
de Port-au-Prince (Haití)*

When the 7.0M earthquake hit Haiti in January 2010 it was already the least developed country in the Western Hemisphere. This vulnerability was clear in the human toll: 220,000 estimated to have died, more than 300,000 people injured. At its peak after the quake, one and a half million people, 10 percent of the Haitian population, were living in camps scattered around Port-au-Prince including over 100,000

at critical risk from storms and flooding. In high resolution imagery from 2012, tents can still be seen on the hillsides outside of Port-au-Prince as well as UN Internally Displaced Persons resettlement camps. The scars from mudslides can be seen across the hillsides, a reminder that Haiti is the frequent victim of other natural disasters including hurricanes and tropical storms.

Cuando en enero de 2010 se produjo el terremoto de magnitud 7,0 en Haití, este país ya era el menos desarrollado del hemisferio occidental. Esta vulnerabilidad se tradujo en cifras: se estima que murieron 220.000 personas y resultaron heridas otras 300.000. En el momento más dramático después del terremoto, un millón y medio de personas, es decir un 10% de la población haitiana, vivían en campamentos diseminados alrededor de Port-au-Prince, y más de 100.000 en lugares

con riesgo de tormentas e inundaciones. En las imágenes de alta resolución tomadas en 2012, todavía pueden verse las tiendas plantadas en las colinas de las afueras de la ciudad, así como los campamentos de reasentamiento instalados por las Naciones Unidas para desplazados internos. Siguen siendo visibles las hendiduras en el terreno provocadas por los aludes de barro, a modo de recordatorio de que Haití suele ser víctima de otras catástrofes naturales como los huracanes y las tormentas tropicales.



Urbanization

Urbanización

Portmore, Jamaica

© Cnes 2012 – Distribution Astrium Services / Pléiades image



Tourism infrastructure: Punta Cana, Dominican Republic

*Infraestructura turística: Punta Cana
(República Dominicana)*

The tourism industry of the Dominican Republic has a huge economic importance for the country, the most popular tourism destination in the Caribbean. Tourism infrastructure development has been especially heavy along the coastline. Punta Cana, famous for its beaches and balnearios, was first developed as a popular tourist destination in the 1970s. The first commercial resort in the Punta Cana region of eastern Dominican Republic was built with the aim to combine luxury tourism development and conservation. The developers set aside 10,000 hectares (24,700 acres) of land as a nature reserve and native fruit tree garden.

The Punta Cana International Airport was built in 1984 by a commercial resort development company to facilitate tourism and it is now one of the busiest and best connected airports in the Caribbean. Recognizing the tourism potential of the region, hotel growth was explosive in the 1990s. Despite some eco-initiatives, the coastline is very vulnerable to erosion. On the other hand the touristic infrastructure, and national economy, is threatened by the natural hazards related to climate change, like tropical storms and sea-level rise.

La industria turística de la República Dominicana tiene una enorme importancia económica para el país, que es el destino preferido en el Caribe. El desarrollo de las infraestructuras turísticas ha sido especialmente intenso en la costa. Punta Cana, famosa por sus playas y sus balnearios, fue desarrollándose para convertirse en un destino turístico popular en la década de 1970.

El primer centro turístico comercial de la región de Punta Cana en la República Dominicana pretendía combinar turismo de lujo y conservación. Los promotores destinaron 10.000 hectáreas de tierra (24.700 acres) a una reserva de la naturaleza y un jardín de árboles frutales autóctonos. En 1984 una empresa de

desarrollo de centros turísticos comerciales construyó el aeropuerto internacional de Punta Cana para facilitar la llegada del turismo. En la actualidad es uno de los aeropuertos del Caribe mejor comunicado y de mayor tráfico. Gracias al potencial turístico de la región, el sector hotelero ha tenido un crecimiento explosivo desde los años 1990. A pesar de algunas iniciativas ecológicas, el litoral es muy vulnerable a la erosión. Por otra parte, la infraestructura turística, al igual que la economía nacional, está sujeta a la amenaza de riesgos naturales relacionados con el cambio climático, como las tormentas tropicales y la elevación del nivel del mar.



Industrialization in Trinidad and Tobago

Industrialización en Trinidad y Tobago

Trinidad is the larger of the two islands of the twin-island Republic of Trinidad and Tobago. It has evolved from its colonial agricultural past into a “Neo-plantation” economy based largely on oil, natural gas and petrochemicals. Today, it is the world’s largest exporter of ammonia and methanol and supplies approximately 70% of the US natural gas market.

Exploration for oil began over 150 years ago, with the first well drilled in 1857. However, it wasn’t until the 1970’s, with the development of the first industrial complex at Pt. Lisas, that industrialization began to transform the Trinidad and Tobago economy. The Pt. Lisas Industrial Estate is serviced with its own supply of natural gas, power, water, shipping port and

deep water harbour. The complex has attracted significant international capital investment to Trinidad. Since the 1980’s, several more industrial parks have been established around the island, including those at La Brea and at Point Fortin. This industrialized landscape is clearly evident in the 2013 image of Pt. Lisas.

Having a thriving industrialized economy has benefited the national and social development of the country, but it has had an impact on the quality of the natural environment. The natural vegetation and adjacent beaches of the Gulf of Paria are under pressure due to the industrialization. Storage tanks, industrial ports, pipelines, industrial plants and roadways now feature on the shoreline. These coastal

infrastructural developments have also effected changes in the nearshore and offshore current patterns, modifying the normal cycles of shoreline drift, erosion and accretion, and have reshaped the local coastline. The arsenal of legislature and regulations for environmental protection has not kept pace with the country's economic development.

Hema Baboolal, PhD Candidate
Environmental Studies Programme,
University of Trinidad and Tobago

Prof. Valerie Stoute, Programme Professor,
Environmental Studies Programme,
University of Trinidad and Tobago

Trinidad es la más extensa de las dos islas principales de la República de Trinidad y Tobago. La isla ha evolucionado desde la agricultura colonial del pasado a una economía de “nuevas plantaciones”, basada mayoritariamente en el petróleo, el gas natural y la industria petroquímica. En la actualidad es el primer exportador mundial de amoníaco y metanol, y suministra alrededor del 70% del consumo de gas natural de los Estados Unidos.

Las prospecciones petrolíferas se iniciaron hace más de 150 años y el primer pozo fue perforado en 1857. Sin embargo, hasta los años de 1970,

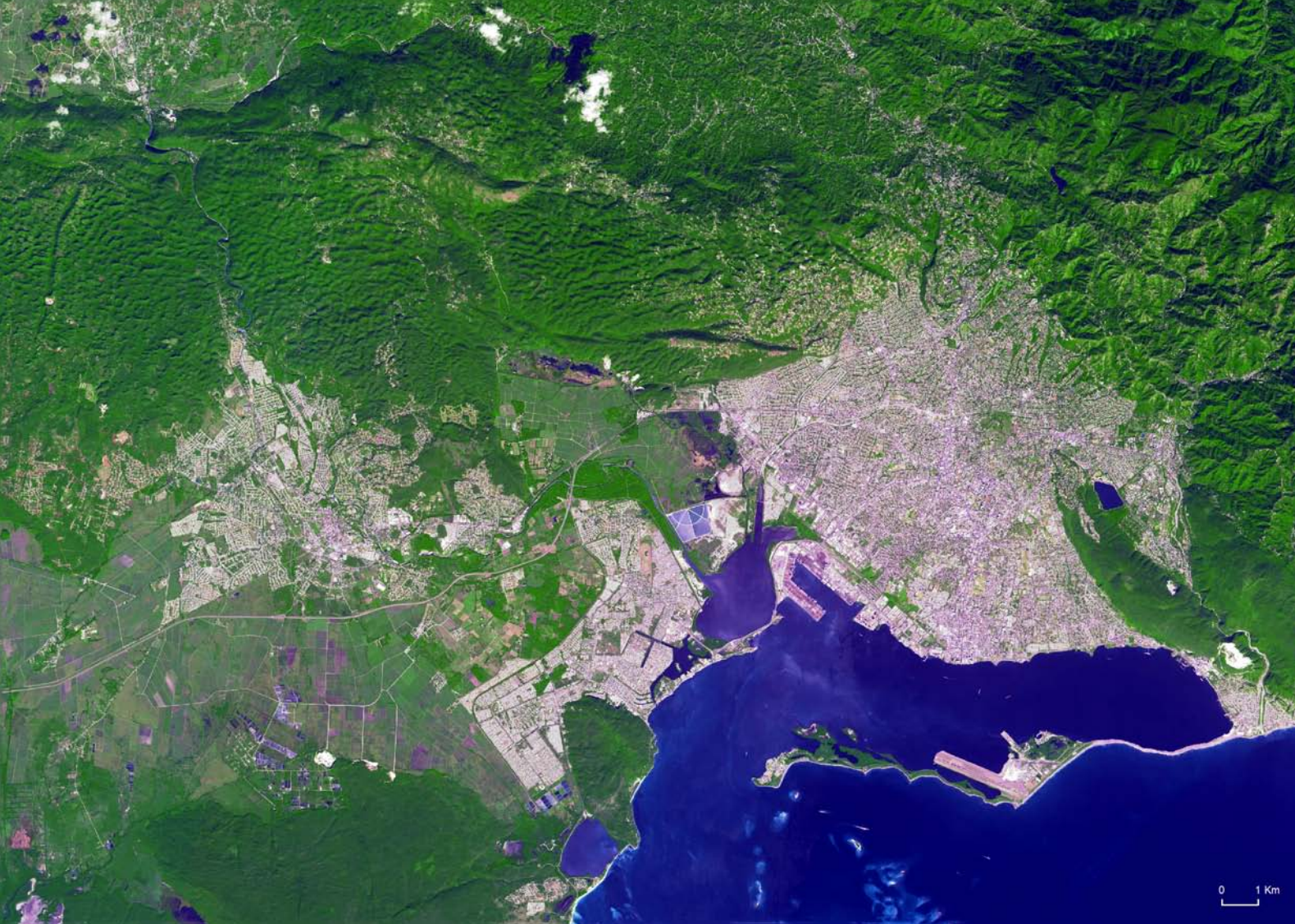
con la creación del primer polo industrial de Pt. Lisas, la industrialización no empezó a transformar la economía de Trinidad y Tobago. El polígono industrial de Pt. Lisas dispone de su propio suministro de gas natural, electricidad y agua, y cuenta con un puerto comercial y un puerto de aguas profundas. Es un foco de atracción para el capital inversor internacional en Trinidad. Desde la década de 1980, en la isla se han establecido otros polígonos industriales, como los de La Brea y Point Fortin. La industrialización del territorio resulta evidente en la imagen de 2013 de Pt. Lisas.

La prosperidad de esta próspera economía industrializada ha beneficiado el desarrollo nacional y social del país, pero también ha tenido un impacto sobre la calidad del medio ambiente. La industrialización ejerce presión sobre la vegetación natural y las playas adyacentes al golfo de Paria. Los tanques de almacenamiento, los puertos industriales, los oleoductos y gasoductos, las instalaciones industriales y las carreteras ocupan el espacio de la costa. La construcción de estas infraestructuras en el litoral también ha tenido efectos a ambos lados de la costa, ha modificado los ciclos normales de su evolución, su erosión y acreción, y la ha remodelado.

El conjunto de leyes y disposiciones sobre protección medioambiental no ha seguido el ritmo del desarrollo económico del país.

*Hema Baboolal,
Doctorando
Programa de Estudios Ambientales,
Universidad de Trinidad y Tobago*

*Prof. Valerie Stoute
Docente del
Programa de Estudios Ambientales,
Universidad de Trinidad y Tobago*



Changes in the urban structure of Kingston
and its suburbs of Spanish Town,
Portmore, Jamaica

*Cambios en la estructura urbana
de Kingston y sus suburbios,
Spanish Town y Portmore (Jamaica)*

Approximately 53% of Jamaica's population currently resides in urban areas. Kingston, Spanish Town and Portmore are the island's three largest urban settlements and together they form an almost continuous stretch of urban development in the south eastern section of the island. Trends in urbanization have been marked by both an increase in the density of urban settlement as well as a physical expansion of urban boundaries. While the rate of urbanization in Kingston has slowed down over the last decade, Spanish Town and Portmore have experienced high rates of change due to the development of extensive housing schemes by both private developers and government initiatives. Since the 1970's Portmore has been the fastest growing non-parish capital in the island and between 2001 and 2011 the population of Portmore increased by

approximately 16%. A large housing development in the Helshire Hills has contributed to urban sprawl by extending both the physical limits of the urban area as well as the total population. Other nodes of urban sprawl and boundary expansion are evident in sections of Spanish Town where similar housing developments have been constructed. Kingston has experienced density changes mainly in the form of gated communities, which are located to the northern section of the city, but very little change in the physical boundaries of the city.

Robert Kinlocke,
Department of Geography and Geology,
University of the West Indies,
Mona Campus

Aproximadamente el 53% de la población actual de Jamaica reside en zonas urbanas. Kingston, Spanish Town y Portmore son los tres asentamientos urbanos más poblados de la isla y constituyen prácticamente un continuo urbano en la parte suroriental de Jamaica. Las tendencias en relación con la urbanización han venido marcadas tanto por el incremento de la densidad de población urbana como por la ampliación física de los límites de las ciudades. Mientras la tasa de urbanización de Kingston se ha moderado en la última década, las de Spanish Town y Portmore han alcanzado valores elevados, debido a la aplicación de ambiciosos planes de vivienda impulsados por la iniciativa privada y los poderes públicos. Desde los años 1970, Portmore se ha convertido en la ciudad de la isla que, sin ser capital de parroquia, ha crecido más rápidamente. Entre 2001 y 2011 la población

de Portmore aumentó aproximadamente un 16%. El gran proyecto urbanístico de Helshire Hills ha contribuido a la extensión de la ciudad, pues ha ampliado los límites físicos de la zona urbana y ha hecho aumentar la población total. En algunas zonas de Spanish Town existen otros nodos de extensión urbana y ampliación de los límites, con proyectos urbanísticos del mismo tipo ya finalizados. Kingston ha experimentado cambios en su densidad de población, en gran medida por la construcción de comunidades cerradas situadas en la parte norte de la ciudad, pero los límites físicos de la ciudad prácticamente no han variado.

Robert Kinlocke,
Departamento de Geografía y Geología,
Universidad de las Indias Occidentales,
Mona Campus



Urban growth in New Providence, Bahamas

Crecimiento urbano en Nueva Providencia (Bahamas)

© USGS/NASA, Landsat 5 image 1986

© USGS/NASA, Landsat 8 image 2013

Nassau, the capital city of the Bahamas located on the island of New Providence is home to 70 percent of the country. Its population has grown from 8,000 in 1844 to more than 220,000 today. Even between 1986 and 2013 it is possible to see extensive urbanization as the city becomes both more dense and expands across the island. The accelerated population growth and large number of tourists have put pressure

on the city's sanitation system. In addition, deforestation of mangroves to build tourism facilities has left the island more vulnerable to increased storms. Likewise, it is clear in the two images that much infrastructure has been developed along the coast lines since 1986.

En Nassau, la capital las Bahamas, en la isla de Nueva Providencia, reside el 70% de la población del país. La población ha pasado de 8.000 personas en 1844 a más de 220.000 en la actualidad. También entre 1986 y 2013 se aprecia una considerable urbanización, pues la ciudad se extiende y su densidad aumenta. El acelerado crecimiento demográfico y el gran número de turistas representan una presión

para el sistema de saneamiento de la ciudad. Además, la deforestación de los manglares para construir instalaciones turísticas aumenta la vulnerabilidad de la isla a las tormentas. En las dos imágenes se aprecia que desde 1986 las infraestructuras se han implantado en gran parte en el litoral.

References

Referencias

- Alemu, J.B., Clement, Y. (2014). Mass Coral Bleaching in 2010 in the Southern Caribbean. *PLoS One* (9/1).
- Baban, S.M.J., Ramsewak, D., Canisius, F. (2009). Mapping and detecting land use/cover change in Tobago using remote sensing and GIS. *Caribbean Journal of Earth Science* (40). 3-13.
- Bueno, R., Cornelia, H., Stanton, E.A., Ackerman, F. (2008). *The Caribbean and Climate Change – The Costs of Inaction*. Stockholm Environment Institute-US Center, Global Development and Environment Institute-Tufts University. 35 pp.
- CARIBSAVE (2012). *The Caribsava Climate Change Risk Atlas (CCCRA) – Climate Change Risk Profile for Barbados*. CARIBSAVE, Barbados. 188 pp.
- CARIBSAVE (2012). *The Caribsava Climate Change Risk Atlas (CCCRA) – Climate Change Risk Profile for Dominican Republic*. CARIBSAVE, Barbados. 206 pp.
- CARIBSAVE (2012). *The Caribsava Climate Change Risk Atlas (CCCRA) – Climate Change Risk Profile for Jamaica*. CARIBSAVE, Barbados. 218 pp.
- De Graff, J.V., Romesburg, H.C., Ahmad, R., McCalpin, J.P. (2012). Producing landslide-susceptibility maps for regional planning in data-scarce regions. *Natural Hazards* (64/1). 729-749.
- Foxx, R.M. (2012). Te Terre a Fatige 'The Earth is Tired': Reversing Deforestation in Haiti. *Behavioral Interventions* (27/2). 105-108.

- Green, E.P., Mumby, P.J., Edwards, A.J., Dark, C.D. (2000). Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management. UNESCO, Paris. 316 pp.
- Juman, R., Ramsewak, D. (2013). Status of Mangrove Forests in Trinidad and Tobago, West Indies. *Caribbean Journal of Sciences* (47/2-3). 300-313.
- Juman, R., Ramsewak, D. (2012). Land Cover Changes in the Caroni Swamp Ramsar Site, Trinidad (1942 and 2007): implications for management. *Journal of Coastal Conservation Planning and Management* (17/1). 133-141.
- Luna, E.J.R., Poteau, D. (2011). Water Level Fluctuations of Lake Enriquillo and Lake Saumatre in Response to Environmental Changes. Cornell University. 41 pp.
- Maxant, J., Proy, C., Fontannaz, D., Clandillon, S., Allenbach, B., Yesou, H., Battiston, S., Uribe, C., De Fraipont, P. (2013). Contribution of Pleiades HR imagery for disaster damage mapping: initial feedback over Asia, Africa, Europe or the Caribbean. 33th EARSeL Symposium Proceedings. 491-498.
- McClintock, N.C. (2003). Agroforestry and sustainable resource conservation in Haiti: A case study. North Carolina State University. 11 pp.
- Méheux, K., Dominey-Howes, D., Lloyd, K. (2007). Natural hazard impacts in small island developing states: A review of current knowledge and future research needs. *Natural Hazards* (40/2). 429-446.
- Mycoo, M. (2014). Sustainable tourism, climate change and sea level rise adaptation policies in Barbados. *Natural Resources Forum* (38/1). 47-57.
- Ohrnberger, D. (1999). *The bamboos of the world: annotated nomenclature and literature of the species and the higher and lower taxa*. Elsevier. 585 pp.
- Padilla, A., McElroy, J.L. (2005). The Tourism Penetration Index in Large Islands: The Case of Dominican Republic. *Journal of Sustainable Tourism* (13/4). 353-372.
- Pajtók-Tari, I., Mika, J., Utasi, Z. (2011). Satellite Observations for Education of Climate Change. Eger, Hungary. 122-130.
- Pelling, M., Uitto, J.I. (2001). Small island developing states: natural disaster vulnerability and global change. *Environmental Hazards* (3/2). 49-62.
- Planning Institute of Jamaica (2010). *Vulnerability Assessment Report Coastal Multi-Hazard Mapping and Vulnerability Assessments Towards Integrated Planning and Reduction*

of Vulnerability for Portland Cottage, Morant Bay and Manchioneal, Jamaica

Simpson, M.C., Scott, D., New, M., Sim, R., Smith, D., Harrison, M., Eakin, C.M., Warrick, R., Strong, A.E., Kouwenhoven, P., Harrison, S., Wilson, M., Nelson, G.C., Donner, S., Kay, R., Geldhill, D.K., Liu, G., Morgan, J.A., Kleypas, J.A., Mumby, P.J., Christensen, T.R.L., Baskett, M.L., Skirving, W.J., Elrick, C., Taylor, M., Bell, J., Rutty, M., Burnett, J.B., Overmas, M., Robertson, R., Stager, H. (2009). An Overview of Modelling Climate Change Impacts in the Caribbean Region with contribution from the Pacific Islands. United Nations Development Programme (UNDP), Barbados, West Indies. 266 pp.

Simpson, M.C., Scott, D., Harrison, M., Silver, N., O'Keeffe, E., Sim, R., Harrison, S., Taylor, M., Lizcano, G., Rutty, M., Stager, H., Oldham, J., Wilson, M., New, M., Clarke, J., Day, O.J., Fields, N., Georges, J., Waithe, R., McSharry, P. (2010) Quantification and Magnitude of Losses and Damages Resulting from the Impacts of Climate Change: Modelling the Transformational Impacts and Costs of Sea Level Rise in the Caribbean (Full Document). United Nations Development Programme (UNDP), Barbados, West Indies. 142 pp.

The Georgian Society of Jamaica (1970). Falmouth 1791-1970. 28 pp.

The Government of Jamaica (2010). Vulnerability Assessment Report Coastal Multi-Hazard Mapping and Vulnerability Assessments Towards Integrated Planning and Reduction of Vulnerability for Portland Cottage, Morant Bay and Manchioneal Jamaica.

Theilen-Willige, B. (2010). Detection of local site conditions influencing earthquake shaking and secondary effects in Southwest-Haiti using remote sensing and GIS-methods. *Natural Hazards and Earth System Sciences* (10/6). 1183-1196.

UNESCO (2013). *Islands of the Future – Building Resilience in a Changing World*. UNESCO, Paris. 40 pp.

Urban Development Corporation (2012). *Draft Greater Falmouth Redevelopment Plan*.

This publication is a contribution to the International Year of SIDS (2014).

UNESCO and Ghent University acknowledge all the reviewers and authors of this publication for their vital research and valuable contributions.

The research done by Ghent University for this publication is funded by the Belgian Science Policy Office in the frame of the STEREO II programme – SIDSAT (SR/02/166).

UNESCO and Ghent University would also like to thank the UNESCO SIDS Platform and BELSPO for their early and continued support of this project as well as the contributions of the UNESCO Kingston office, Mario Hernandez of ISPRS, Philippe De Maeyer and Michiel Van den Bergh of the Department of Geography, Ghent University.

Publication Coordination: Lieselot Lapon, Sarah Gaines

Review: Cesar Toro, UNESCO Kingston; Frank Ortiz Rodríguez, UNESCO Havana; Dimitris Herrera Hernández, La Universidad Autónoma de Santo Domingo

Credits for the remote sensing data used in this publication. “Changing Small Island Developing States: A space perspective on environmental change in the Caribbean” includes material:

© CNES 1999/2010/2012 Distribution Astrium Services / Spot Image S.A., France, all rights reserved

© NASA/GSFC/METI/Japan Space Systems 2013, U.S./Japan ASTER Science Team, ASTER image, all rights reserved

© NASA 1999-2014, Landsat data compiled by the U.S. Geological Survey, all rights reserved

Graphic design: UNESCO
Printed by UNESCO

© UNESCO, 2014





United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



© UNESCO, 2014



BARBADOS COMMUNITY COLLEGE
Many Studies - One Brotherhood

