



United States
Department of
Agriculture

Forest Service



International Institute
of Tropical Forestry

Research Map
IITF-RMAP-II

November 2008



High and low density development in Puerto Rico

William A. Gould¹, Sebastián Martinuzzi^{1,2} and Olga M. Ramos
González¹

English and Spanish version enclosed

USDA Forest Service
International Institute of Tropical Forestry
Jardín Botánico Sur
1201 Calle Ceiba
Río Piedras, PR 00926-1119

Project director: William A. Gould

The enclosed map was developed by the Puerto Rico Gap Analysis Project (PRGAP) and displays the distribution of high and low density development in Puerto Rico. The development data was created through remote sensing analysis of Landsat ETM+ satellite imagery ranging from the years 2000 to 2003. The classification of the images resulted in a developed land cover of Puerto Rico, where urban, built-up and non-vegetated areas that result from human activity were identified. Using additional remote sensing techniques the developed land cover was divided into high and low-density. High-density includes greater than 50% developed surface within a 9 ha area, low-density is less than 50%. From a total of 95 342 ha of urban/built-up lands, 54 899 ha (nearly 60%) is high-density development, and 40 443 ha (nearly 40%) is low-density development.

Suggested citation: Gould W.A.; Martinuzzi, S.; Ramos González, O.M. 2008. High and low density development in Puerto Rico. Scale 1: 260 000. IITF-RMAP-11. Río Piedras, PR: US Department of Agriculture Forest Service, International Institute of Tropical Forestry.

This research was supported by the United States Geological Survey Biological Resources Division National Gap Program cooperative agreement No. 01HQPG0031 (01-IA-111201-002), the USDA Forest Service International Institute of Tropical Forestry (IITF), the Puerto Rico Gap Analysis Project (PRGAP), and the IITF GIS and Remote Sensing Laboratory. All research at IITF is done in collaboration with the University of Puerto Rico.

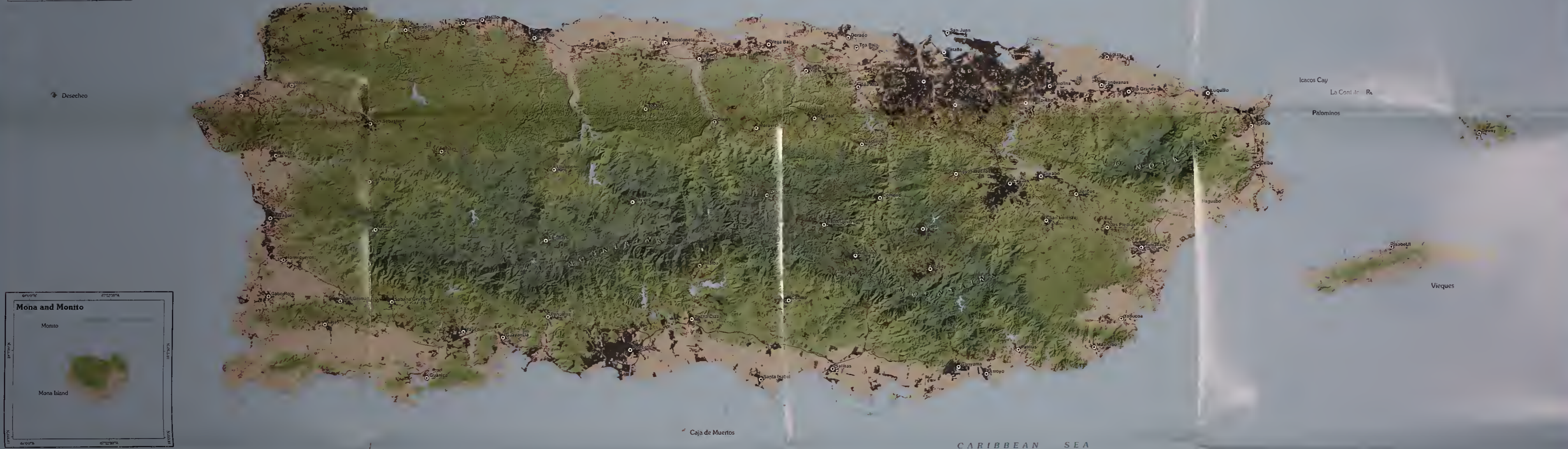
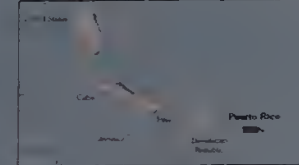
1. USDA Forest Service International Institute of Tropical Forestry (IITF), Jardín Botánico Sur, 1201 Calle Ceiba, Río Piedras, PR 00926-1119, Puerto Rico; wgould@fs.fed.us, oramos@fs.fed.us
2. Geospatial Laboratory for Environmental Dynamics (GLED), College of Natural Resources, University of Idaho, ID 83844-1135, Moscow, Idaho, United States; smartinuzzi@vandals.uidaho.edu

High and low density development in Puerto Rico

William A. Gould, Sebastián Martinuzzi and Olga M. Ramos González
 USDA Forest Service International Institute of Tropical Forestry (IITF)



PRGAP ANALYSIS PROJECT
 IITF GIS and Remote Sensing Lab
 A center for tropical landscape analysis

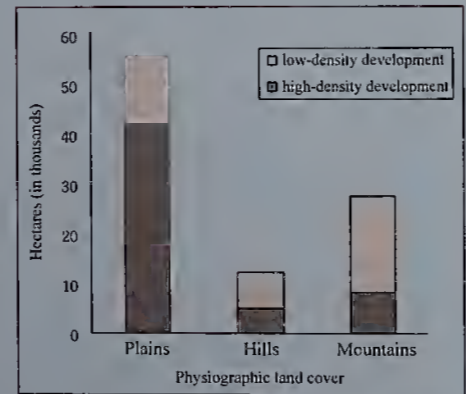
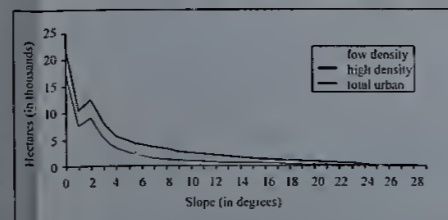


Map Description
 This map shows the distribution of high and low density developed lands in Puerto Rico (Martinuzzi et al. 2007).

The map was created using a mosaic of Landsat ETM+ images that range from the years 2000 to 2003. The developed land cover was classified using the Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique (ISODATA) unsupervised classification (ERDAS 2003). Developed land cover refers to urban, built-up and non-vegetated areas that result from human activity. These typically include built structures, concrete, asphalt, and other infrastructure. The developed cover was divided into high and low-density using a textural filter. Using a 300 m by 300 m window, the filter evaluates the proportion of surrounding developed and non-developed pixels of a given pixel. High-density refers to those urban pixels that are surrounded by more than 50% of developed pixels, while low-density refers to those pixels that are surrounded by less than 50% of developed pixels.

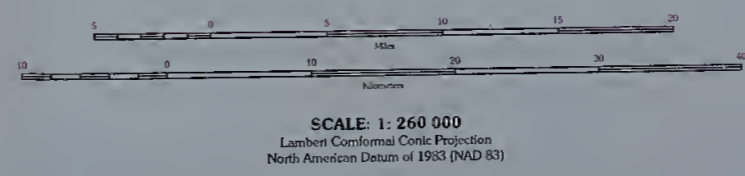
From a total of 95 342 ha of urban/built-up lands, 54 899 ha (nearly 60%) is high-density development, and 40 443 ha (nearly 40%) is low-density developments. High-density development reflects the compact pattern of construction within urban centers, including cities and towns, along important connections between major cities, and within exurban agglomerations that are non-contiguous with the urban centers; conversely, low-density reflects the noncontiguous pattern of development that expands outward from urban centers in linear features following the road network and isolated constructions. Some of the biggest highways and routes are also included within the low-density developments.

Development is closely tied to the topography of the island. Development decreases rapidly as slope increases. This tendency is observed on the total built-up areas and high-density developments, for low-density development the decrease with the slope is much slower. Between 5° and 6° slopes, the relationship between the two types of development inverts. From 0° to 5-6° the amount of high-density development is greater than the corresponding low-density development, while the contrary is found at higher slopes. The 6° slope also represents the separation point between the plains and the hills and mountains in the physiography of the island. Consequently, high-density development predominates in the plains, while low-density development predominates in hills and mountains.



Above: Distribution of high and low-density development in plains, hills, and mountains.

Left: Distribution of urban development in relation to slope. The dash line between 5° and 6° represents the break point for the proportion of low and high-density developments. The peak at 2° is an artifact from the digital elevation model (DEM), a similar peak is found in the DEM.



United States Department of Agriculture Forest Service has developed this information for the guidance of its employees, its contractors, and its cooperating Federal and State agencies. It is not responsible for the interpretation or use of this information by anyone except its own employees. The use of trade, firm, corporation, or association names in this publication is for the information and convenience of the reader and does not constitute an endorsement by the Department of any product or service. This product is reproduced from geospatial information prepared by the U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Geospatial Information System (GIS) data and product accuracy may vary. They may be developed from sources of differing accuracy, accurate only at certain scales, based on modeling or interpretation, or incomplete while being created or revised. Using GIS products for purposes other than those for which they were created may yield inaccurate or misleading results. This information was released on the indicated date. The Forest Service reserves the right to correct, update, modify, or replace GIS products without

- Land use**
- Low Density Developed Landcover (40 443 ha or 43%)
 - High Density Developed Landcover (54 899 ha or 57%)
- Administrative**
- Urban centers
- Hydrography**
- Lakes/Reservoirs
 - Rivers/Streams
- Elevation (m)**
- 0 - 50
 - 50 - 150
 - 150 - 400
 - 400 - 700
 - 700 - 1000
 - Above 1000*
- * Maximum elevation 1330

References
 ERDAS IMAGINE 8.7, 2003. Leica Geosystem GIS and Mapping LLC.

Martinuzzi, S., Gould, W.A., Ramos González, O.M. 2007. Land development, land use, and urban sprawl in Puerto Rico integrating remote sensing and population census data. *Landscaping and Urban Planning* 79: 288-297

Additional data sources
 Elevation data: The elevation data were derived from the USGS National Elevation Dataset (NED) digital elevation model (DEM). The data set is a raster product assembled by the U.S. Geological Survey (USGS). The NED is designed to provide national elevation data in a seamless form with a consistent datum, elevation unit, and projection. Data corrections are made in the NED assembly process to minimize, but not eliminate artifacts, perform edge matching, and fill silver areas of missing data. NED has a resolution of one arc-second (approximately 30 meters) for the contiguous United States, Hawaii, and Puerto Rico and a resolution of two arc-seconds for Alaska. The hillshade was calculated using ArcGIS 9.1 and spatial analyst extension.

Hydrography data set. The hydrography dataset was derived and generalized from The National Hydrography Dataset (NHD). The NHD was originated by the U.S. Geological Survey in cooperation with U.S. Environmental Protection Agency, USDA Forest Service, and other Federal, State and local partners. 2005, Reston, Virginia. This data set is presented as vector digital data generally developed at 1:24 000 1:12 000 scale.

Urban centers: This data set was developed by the GIS and Remote Sensing Lab of the International Institute of Tropical Forestry using visual interpretation of existing maps. Each point in the data set represents the approximate urban center for each municipality.

Suggested citation
 Gould, W.A., Martinuzzi, S., Ramos González, O.M. 2008. High and low density development in Puerto Rico. Scale 1:260 000. IITF-RMAP-11. Río Piedras, PR: US Department of Agriculture Forest Service, International Institute of Tropical Forestry.

Acknowledgements
 This research was supported by the United States Geological Survey Biological Resources Division National Gap Program cooperative agreement No. 01HQPC0311 (01-04-11201-002), the Puerto Rico GAP Analysis Program (PRGAP), the IITF GIS and Remote Sensing Laboratory and the USDA Forest Service International Institute of Tropical Forestry. Special thanks to reviewers for critical reviews of the map. This research was conducted in collaboration with the University of Puerto Rico.

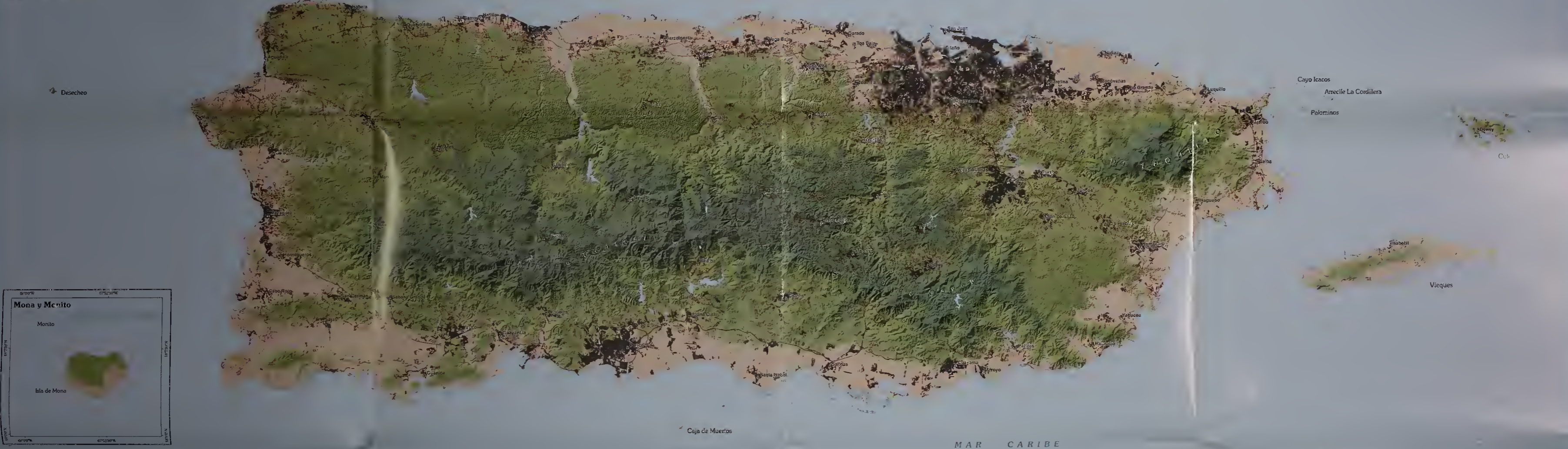
Publication date: November 2008

Densidad de desarrollo alta y baja en Puerto Rico

William A. Gould, Sebastián Martinuzzi y Olga M. Ramos González
 Instituto Internacional de Dasonomía Tropical (IITF) del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos



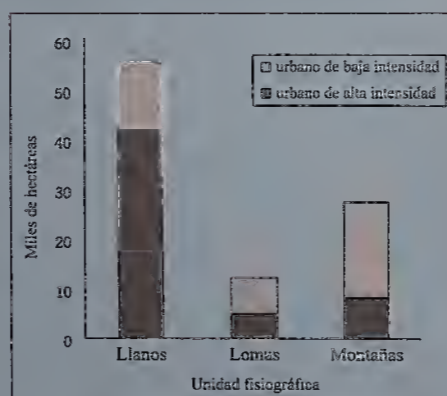
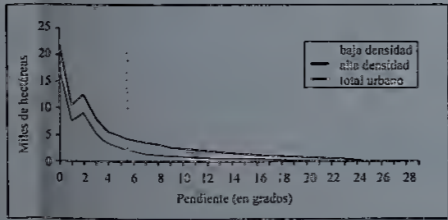
Proyecto de Análisis Gap de Puerto Rico
 Laboratorio de SIG y Teledetección del IITF
 Centro de análisis del paisaje tropical



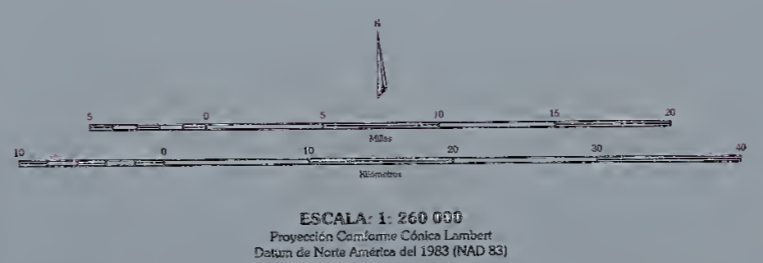
Descripción del mapa
 Este mapa demuestra la distribución de terrenos de alta y baja densidad de desarrollo urbano en Puerto Rico (Martinuzzi et al. 2007). El mapa fue creado mediante el análisis de un mosaico de imágenes de satélite Landsat ETM+ de los años 2000 - 2003. La clasificación no supervisada ISODATA ("Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique") (ERDAS 2003) fue utilizada para crear una cobertura desarrollada de Puerto Rico. Cobertura desarrollada se define aquí como áreas urbanas, construidas y sin vegetación, que resultan de actividad humana. Típicamente, estas incluyen estructuras construidas, concreto, asfalto y otra infraestructura. La cobertura desarrollada se dividió en alta y baja densidad mediante el uso de un filtro de textura. Utilizando una ventana de 300 m por 300 m, el filtro evaluó la proporción de píxeles desarrollados y no desarrollados adyacentes a cada uno de los píxeles de la cobertura desarrollada. Alta densidad se refiere a aquellos píxeles que están rodeados por más de un 50% de píxeles desarrollados, mientras que baja densidad se refiere a aquellos píxeles que están rodeados por menos de un 50% de píxeles desarrollados.

El análisis encontró un 95 342 ha de terrenos desarrollados en el país, con 54 899 ha (casi un 60%) de estos de alta densidad, y 40 443 ha (casi 40%) de baja densidad. Los desarrollos de alta densidad reflejan el patrón compacto de construcción dentro de los centros urbanos, incluyendo ciudades y pueblos, a lo largo de conexiones importantes entre ciudades principales, y entre aglomeraciones suburbanas que no están próximas a centros urbanos. Los desarrollos de baja densidad reflejan el patrón no contiguo que se expande hacia las afueras de los centros urbanos de manera lineal siguiendo la red vial y construcciones aisladas. Algunas de las autopistas y rutas más grandes fueron clasificadas como terrenos desarrollados de baja densidad.

Los terrenos desarrollados disminuyen a medida que la pendiente aumenta. Esta tendencia se observa en el total de áreas urbanas así como en las áreas de alta densidad, las áreas de baja densidad disminuyen más lentamente. Entre las pendientes de 5° y 6°, la relación entre los dos tipos de desarrollo urbano se invierte. De 0° a 5°-6° la cantidad de desarrollos de alta densidad es mayor que la cantidad correspondiente a los desarrollos de baja densidad, mientras que lo contrario es cierto para pendientes más altas. La pendiente de 6° también representa el punto de separación entre los llanos y las lomas y montañas en la fisiografía del país. Por ende, los desarrollos de alta densidad predominan en los llanos, mientras que los desarrollos de baja densidad predominan en las lomas y montañas.



Arriba: Distribución de áreas desarrolladas de alta y baja densidad en llanos, lomas y montañas.
 Izquierda: Distribución de desarrollo urbano en relación a pendiente del terreno. La línea entre cortada entre 5° y 6° representa el punto de equilibrio para la proporción de desarrollos de alta y baja densidad. El pico observado en 2° es un artefacto del modelo de elevación digital (DEM), un pico similar se encuentra en el DEM.



El Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos ha desarrollado esta información como guía para sus empleados, contratistas, y colaboradores en agencias federales y estatales. No es responsable por la interpretación o uso de esta información por nadie excepto sus propios empleados. El uso de nombres de marcas registradas, firmas, corporaciones o asociaciones en esta publicación es para información y conveniencia del lector y no constituye respaldo por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos o ninguno de sus productos o servicios. Este producto es reproducción de información espacial preparada por el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Contenido del producto y los datos pueden variar. Estos pueden ser desarrollados de fuentes con diferentes certezas, precisiones o cierto escala, basados en métodos o interpretación, o incompletos intentos son creados o revisados. Utilice productos geográficos para propósitos diferentes o los propósitos para los que fueron creados puede resultar en información errónea o incorrecta. Esta información fue publicada en el fecha indicada en el mapa. El Servicio Forestal se reserva el derecho de corregir, actualizar, modificar o reemplazar productos geográficos sin previo aviso.

- Usos de terreno**
- Cobertura desarrollada de baja densidad (40 443 ha o 43%)
 - Cobertura desarrollada de alta densidad (54 899 ha o 57%)
- Administrativo**
- Centros urbanos
- Hidrografía**
- Lagos y reservas
 - Ríos y quebradas
- Elevación (m)**
- 0 - 50
 - 50 - 150
 - 150 - 400
 - 400 - 700
 - 700 - 1000
 - Sobre 1000*
- * Elevación máxima 1330

Referencias
 ERDAS IMAGINE 8.7 2003. Leica Geosystem GIS and Mapping LLC
 Martinuzzi, S.; Gould, W.A.; Ramos González, O.M. 2007. Land development, land use, and urban sprawl in Puerto Rico integrating remote sensing and population census data. *Landscaping and Urban Planning* 79: 288-297

Fuentes adicionales de datos
 Centros urbanos: Los centros urbanos fueron desarrollados por el Laboratorio de SIG y Teledetección del Instituto Internacional de Dasonomía Tropical mediante la interpretación visual de mapas existentes. Cada punto representa la localización aproximada del centro urbano de cada municipio.
 Datos hidrográficos: Los datos hidrográficos fueron derivados y generalizados de los datos del National Hydrography Dataset (NHD) del U.S. Geological Survey (USGS). Los datos están en formato raster. El NED está diseñado para proveer datos de elevación nacional uniformemente con parámetros consistentes (datum, unidad de elevación y proyección). Dentro del ensamblaje de el NED se hacen correcciones a los datos para minimizar, aunque no eliminar, artefactos, alinear los bordes, y rellenar áreas sin datos. Los datos del NED tienen una resolución de un arco por segundo (aproximadamente 30 metros) para Estados Unidos continental, Hawaii, y Puerto Rico y una resolución de dos arcos por segundo para Alaska. El archivo raster de sombra topográfica ("hillshade") fue calculado utilizando el programa ArcGIS 9.1 con la extensión Spatial Analyst.

Cita sugerida
 Gould, W.A., Martinuzzi, S., Ramos González, O.M. 2008. High and low density development in Puerto Rico. Scale 1: 260 000. IITF-RMAP-11. Río Piedras, PR. US Department of Agriculture Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. (Spanish version)

Agradecimientos
 Esta investigación fue hecha con la ayuda y el apoyo de el USGS-BRD National Gap program (cooperative agreement no. 01HQPG0031 (01-1A-111201-002)), el Puerto Rico Gap Analysis Program (PRGAP), el laboratorio de SIG y teledetección del Instituto Internacional de Dasonomía Tropical, y el USDA Forest Service International Institute of Tropical Forestry. Gracias especiales a las personas que participaron de la revisión de este mapa. Esta investigación fue hecha en colaboración con la Universidad de Puerto Rico.

Fecha de Publicación: Noviembre 2008

NATIONAL AGRICULTURAL LIBRARY



1022839250

