CARTOGRAFÍA DE LOS PAISAJES DE LA PROVINCIA DE LA HABANA, CUBA♦

CARTOGRAPHY OF THE LANDSCAPES OF THE PROVINCE OF HAVANA, CUBA

Lissy Mateo Rego[1*], Iván Noguera[2], José Manuel Mateo[3]

1* Unidad Científico Técnica, GEOCUBA Investigación y Consultoría. La Habana. Correo electrónico: lissy@uct.geocuba.cu
2 Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza, c/ Pedro Cerbuna, 12, 50009, Zaragoza.
3 Facultad de geografía. Universidad de La Habana (Cuba).

Resumen

El mapa de unidades geoecológicas es un producto de síntesis cartográfica, resultado de la integración de los diferentes componentes naturales, las formas de uso y la morfología del paisaje. Sin embargo, la identificación, cartografía y clasificación de los paisajes por métodos convencionales es difícil y costosa. Estas cuestiones se hacen aún más complejas en regiones geográficas con relativo grado de urbanización. Tradicionalmente estos procedimientos se efectúan a partir del levantamiento en campo, la superposición de mapas temáticos o la combinación de ambos.

En este trabajo se aplicaron las técnicas de procesamiento digital de imágenes con el enfoque del análisis orientado a objetos, combinadas con la interpretación a partir de criterios visuales, la superposición de mapas temáticos y el trabajo de campo para la identificación, clasificación y cartografía de los paisajes de la Provincia de La Habana. Con la aplicación de estas técnicas se generaron los mapas de unidades de paisaje a escala 1:200.000, con 10 unidades de paisajes naturales y 24 unidades de paisajes culturales.

Palabras clave: paisajes naturales; paisajes culturales; La Habana (Cuba); GEOBIA (*GEographic Object Based Image Analysis*).

Abstract

Map of Landscapes is a cartographic product synthesis resulting from the integration of the different natural components, the use forms and landscape morphology. However, the identification, mapping and classification of conventional landscapes are difficult and costly end. These issues become even more complex in geographical regions with relative degree of urbanization. Traditionally, these procedures are performed from field survey, overlapping thematic maps or a combination of both. In this work, the techniques of digital image processing with the focus of object-oriented analysis, combined with the interpretation based on visual criteria, the overlay of thematic maps and the fieldwork for the identification, classification and mapping of the landscapes of the Province of Havana. With the application of these techniques, maps of landscape units were generated at scale 1: 200,000, with 10 units of natural landscapes and 24 units of cultural landscapes.

Keywords: natural landscape; cultural landscape; Havana (Cuba); GEOBIA (GEographic Object Based Image Analysis).

1. Introducción

La clasificación convencional de imágenes de satélites permite agrupar los píxeles de una imagen en función de sus niveles digitales, haciéndoles corresponder (a cada pixel) un determinado tipo de cobertura del suelo (e.g. agua, vegetación, caminos). Con este proceso se logran nuevas imágenes que posteriormente son convertidas en mapas (Chuvieco, 1996).

Los métodos de clasificación se han dividido, tradicionalmente, en dos grupos: supervisado y no supervisado, de acuerdo a la forma en que son obtenidas las estadísticas de entrenamiento. El método supervisado parte de un conocimiento previo del terreno, a partir del cual se seleccionan las muestras para cada una de las categorías. Por su parte, el método no supervisado procede a una búsqueda automática de grupos de valores homogéneos dentro de la imagen (Chuvieco, 2001). Con el avance de las técnicas de procesamiento digital de imágenes, surge la clasificación basada en objetos geográficos (GEOBIA, por sus siglas en inglés: GEographic Object Based Image Analysis).

En esta investigación se utilizaron técnicas de procesamiento digital de imágenes para la clasificación y cartografía del mapa de paisajes en la provincia de La Habana (Fig. 1). Se hizo una clasificación orientada a objetos con el empleo de criterios visuales de interpretación, y complementados por la superposición de mapas y trabajo de campo en la identificación. La confección del mapa de paisajes se realizó a partir de la

♦ ***Datos procesamiento artículo***
Recibido: 10 de septiembre de 2016
Revisado: 26 de mayo de 2017
Aceptado: 28 de junio de 2017

interacción y articulación dialéctica entre los paisajes naturales y los culturales, que responden no solo al tipo de uso de cada paisaje natural, sino a la forma concreta en que cada paisaje natural ha sido construido y apropiado culturalmente. (Mateo, 2011, 2013)

La Habana se localiza a 23º 08' de latitud norte y 81º21' de longitud oeste y constituye una de las ciudades más antiguas del continente americano. Desde su fundación en el año 1514 y a lo largo de su historia, ha sido escenario de acontecimientos históricos, políticos y socio–económicos que han configurado su actual paisaje. En su desarrollo, el puerto de La Habana constituyó un elemento fundamental al convertirse en el principal puerto de España en el llamado Nuevo Mundo, tomando la ciudad una función puerto-albergue-almacén. También destaca y destacó el desarrollo del sector terciario, destinado en lo fundamental a los consumidores de la flota.

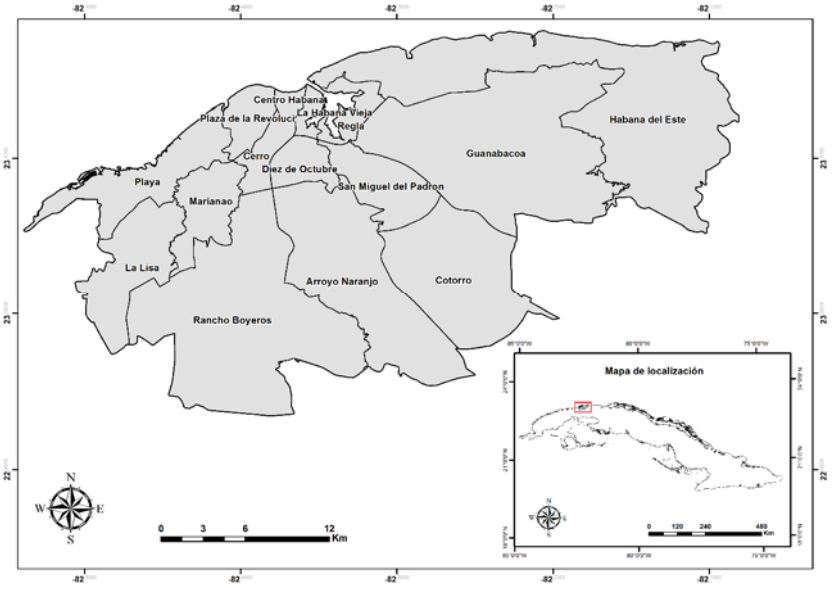

Figura 1. Localización del área de estudio. Provincia de La Habana, Cuba.

La zona de estudio se considera una región urbana porque el espacio natural ha sido por completo transformado por las dinámicas urbanas, sometiéndose a las características de las diferentes partes de la ciudad (Gonzalez Rego, 2016). Esto supone que, en un orden natural subordinado a otras regiones (norte y sur de La Habana), La Habana se singulariza por la significativa incidencia que tiene lo urbano en la formación de la individualidad regional (Mateo, 2016). El principal antecedente de estudios de este tipo en la zona de estudio lo constituye el Proyecto CAESAR sobre Sostenibilidad Ambiental en la Provincia La Habana, que se desarrolló en el año 2003 por un consorcio de universidades europeas y latinoamericanas, apoyado por el programa V de la Comisión Europea (INCO-DEV). Dentro de las tareas de este proyecto, se elaboró una propuesta de planificación para la provincia basada en la distinción y propiedades de las unidades geoecológicas (paisajes naturales y culturales), sus potenciales, la situación ambiental, la degradación geoecológica y las tendencias de cambios y transformación de cada una de ellas (CAESAR, 2004). Como uno de los resultados se obtuvo el mapa de paisajes a escala 1:200.000 de la provincia con 10 unidades de paisaje natural y 24 unidades de paisaje cultural.

2. Materiales y método

Se utilizaron cinco imágenes provenientes del satélite Rapideye a un nivel de procesamiento 3 A, nivel que incluye los productos OrthoRapidEye corregidos radiométricamente y ortorectificados con un tamaño de 25x25 km. Este satélite contiene sensores calibrados por igual viajando en el mismo plano orbital (a una altitud de ~630 km). Recogen todos los días más de 4 millones de km² de imágenes a color, con 5 m de resolución espacial y cinco bandas del espectro electromagnético: azul (440-510 nm), verde (520-590 nm), rojo (630-685 nm), Red-Edge (690-730 nm) y el infrarrojo cercano (NIR) (760-850 nm). La resolución nominal en el suelo es de 5 m, que corresponde a la categoría 2 en la escala NIIRS. En la selección de las imágenes se tuvo en cuenta la fecha y la hora de la toma, el porcentaje de nubosidad y el nivel de procesamiento. El tratamiento de las imágenes se realizó en el software ENVI 5.1, la clasificación orientada a objetos en el software eCognition 8.7, y la edición final de los mapas en ArcGIS 10.1.

Para lograr un total cubrimiento del área de estudio se confeccionó un mosaico con las cinco imágenes. Mediante una máscara se delimitó el área de estudio. El mosaico de imágenes se trabajó con la combinación de bandas de color natural 321 (azul, verde y rojo) y la combinación de falso color 235 (verde, rojo e infrarrojo cercano). Como apoyo complementario se analizó la información contenida en los siguientes mapas: Mapa Topográfico Digital (2012) de la República de Cuba a escala 1:100.000; Modelo

Digital de Elevación (2012) (MDE), a escala 1:100.000 de Ciudad de La Habana del Centro de Investigaciones de GEOCUBA Investigación y Consultoría, a partir del cual se construyeron los mapas de altimetría y pendiente; Mapa geológico digital (2000), a escala 1:100.000 del Instituto de Geología y Paleontología; Mapa de suelo (1999), a escala 1:500.000 del Instituto de Suelos; Mapas de cobertura forestal (2015) de la provincia de La Habana a escala 1:100.000 del Centro de Investigaciones de GEOCUBA; Limites administrativos de la provincia de La Habana (Instituto de Geografía Tropical).

2.1. Identificación y clasificación de las unidades de paisaje

La clasificación orientada a objetos busca simular técnicas de interpretación visual a través del modelaje del conocimiento para la identificación de mejores características, basada en la descripción de patrones identificadores. El sistema posibilita el uso de la técnica convencional del vecino más próximo a partir de la firma espectral del objeto (definida por las muestras), además de la aplicación de modelos boleanos y/o fuzzy, que pueden ser libremente diseñados en un ambiente interactivo (Madureira *et al*. 2009).

Esta técnica de clasificación cuenta con muchos tipos de descriptores que hacen posible discriminar las clases informacionales a partir de determinados parámetros caracterizadores de los objetos, por ejemplo: forma, tamaño, tono, color, textura, localización, sombra y asociación. La selección de los descriptores depende del conocimiento del intérprete y constituye una alternativa para distinguir los objetos que espectralmente presentan dificultades al ser cartografiados.

En este estudio, se realizó la clasificación orientada a objetos a partir de nueve clases informacionales, susceptibles a determinar en la imagen. En la selección de los descriptores se tuvo en cuenta los criterios visuales de interpretación mencionados anteriormente. La Tabla 1 relaciona la clase con los descriptores empleados para la identificación de cada una de ellas.

Tabla 1. Clases determinadas en la imagen y los descriptores correspondientes.

Clase	Patrón espacial Imagen RapidEye	Descriptores		
	Imagen mejorada con Filtro lineal 2%Combinación321.	De forma	De textura	Valores de banda
Construcciones				Valor medio de la banda1
Viales		Forma rectangular		

Cultivos		Dirección principal Forma rectangular		Valor medio de la banda 3
Vegetación				Brillo Valor medio de la banda3 Valor medio de la banda1
Cuerpos de agua			Contraste	

Mediante el algoritmo de segmentación se consideró el contexto del píxel (región) y no exclusivamente sus valores espectrales, lo que permitió considerar las características del medio. Con este algoritmo fueron delineados los elementos que conformaron las unidades de paisaje. Se seleccionó una estrategia de segmentación *top-down* (de arriba para abajo), consistente en iniciar el proceso a partir de los grandes objetos que son subdivididos hasta obtener un nivel de escala más detallado.

En la identificación y clasificación de las unidades geoecológicas de primer orden (paisajes naturales), se realizó el análisis basado en objetos, que tiene como unidades de procesamiento básico los objetos generados por los algoritmos de segmentación. Utilizando como fuente de datos los modelos de altimetría y pendiente generados del MDE, se efectuó una primera segmentación donde se le otorgó más peso al color y menos a la forma con un nivel medio de compactibilidad. Este procedimiento permitió determinar las unidades de primer orden o localidades. Los parámetros utilizados y la segmentación resultante se indican en la Fig. 2.

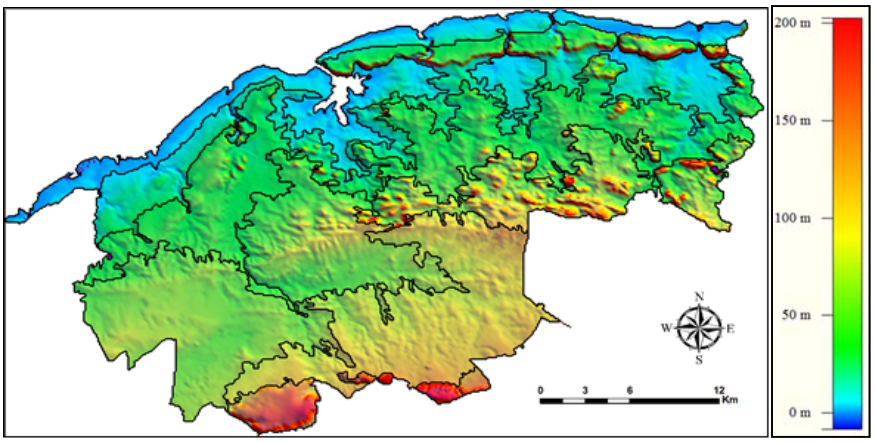

Figura 2. Proceso de segmentación efectuada a partir del modelo digital de elevación. Los parámetros utilizados en la segmentación a partir del MDE son: escala (140), forma (0,1), color (0,9), compactibilidad (0,5).

Una vez efectuada la segmentación se definieron las clases informacionales y se tomaron las muestras correspondientes. En este proceso se seleccionan los descriptores de textura, de valores de las bandas espectrales de los mosaicos georreferenciados y los datos provenientes del MDE, lo cual permitió una mejor discriminación de las clases para lograr la mayor veracidad posible en la clasificación orientada a objetos. La Fig. 3 muestra el resultado de la clasificación de los paisajes naturales.

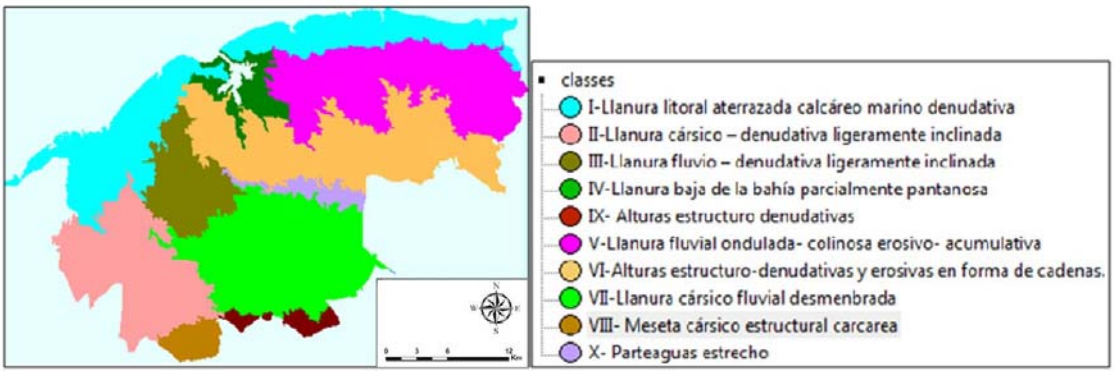

Figura 3. Clasificación de los paisajes naturales.

La identificación de los paisajes culturales se realizó a partir de la interpretación del mosaico de imágenes obtenido del análisis orientado a objetos. Al igual que en las unidades de paisaje naturales, en este caso se efectuó un nivel de segmentación donde se le otorgó más peso al color y menos a la forma, pero con un nivel mínimo de compactibilidad. Así se pudieron determinar las unidades de paisajes culturales. Los parámetros utilizados en la segmentación se indican en la Fig. 4, en la cual se ilustra un fragmento de la imagen segmentada.

Figura 4. Fragmento de la segmentación de la imagen RapidEye. Los parámetros utilizados en la segmentación a partir del MDE son: escala (60), forma (0,2), color (0,8), compactibilidad (0,1).

En una última etapa se le asignó a cada uno de los elementos la clase correspondiente a la toma de muestras. Estas son consideradas segmentos o unidades básicas (regiones) y no píxeles individuales dentro de cada muestra, lo que permite tener en cuenta las características del medio. Durante este proceso se consultó la información contenida en los mapas temáticos de suelo, geología, vegetación y paisajes. Además, durante el proceso de clasificación fue decisivo el trabajo de campo y la consulta a especialistas.

3. Resultados

La fotointerpretación basada en la descripción de patrones a partir de criterios visuales de interpretación, facilitó la selección de los descriptores de forma, textura y valores de bandas espectrales utilizados para discriminar las clases informacionales, así como para realizar la clasificación orientada a objetos. La aplicación del método de clasificación permitió generar un mapa de paisaje con 10 unidades de paisajes naturales y 24 unidades de paisajes culturales (Fig. 5).

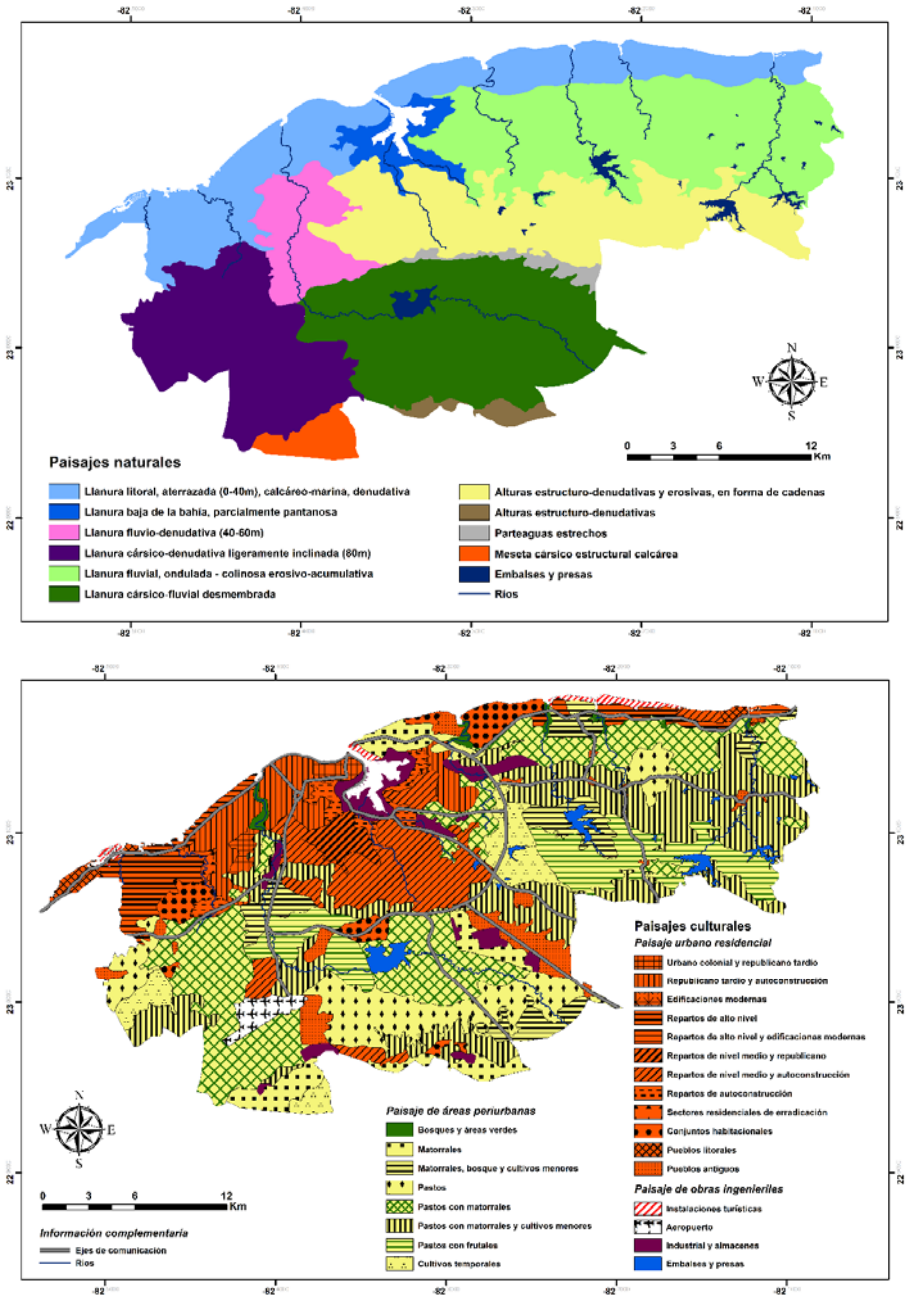

Figura 5. Mapa de paisajes naturales (superior) y paisajes culturales (inferior) de provincia de La Habana.

4. Discusión

La identificación, clasificación y cartografía que se realiza actualmente en Cuba se basa en el método de superposición de mapas temáticos en un sistema de información geográfica (SIG) (Ramón Puebla *et al*., 2009; Salinas *et al*., 2013; Martínez y Bollo Manent, 2017). Aunque a nivel internacional prevalece el método de superposición de mapas en un SIG, crece la tendencia de utilizar la clasificación orientada a objetos a partir del modelaje del conocimiento y el empleo de criterios visuales de interpretación en la delimitación y clasificación del paisaje (Madureira *et al*., 2009; Mendes, 2014).

Las técnicas de procesamiento digital se emplean, fundamentalmente, con el objetivo de delimitar las unidades, mientras que las técnicas de clasificación digital son de utilidad para la obtención de mapas temáticos (cobertura, uso de la tierra, vegetación), que posteriormente son usados en la superposición de capas para la generación final del mapa de paisajes (Rodríguez, 2005; Gómez, 2009; Martínez y Bollo Manent, 2017).

El empleo de estas técnicas en los estudios de la geoecología del paisaje disminuye considerablemente el tiempo de la investigación, ayuda y coadyuva a mejorar los límites, el carácter de distribución de las unidades y perfeccionar la interpretación directa. Además, la utilización de estas técnicas propició eliminar los pequeños polígonos diseminados por toda el área clasificada, conocidos en la literatura como efecto “sal y pimienta”, lo cual acortó considerablemente el proceso de post-clasificación, elevando la calidad del mapa temático y humanizando el trabajo del especialista.

5. Conclusiones

La Habana es una región geográfica dominada por un espacio pensado y construido por las acciones humanas, que se individualiza de manera destacada, y que tiene una suficiente complejidad como para incorporar en sus funciones a un conjunto de espacios y paisajes que se subordinan a la organización y la dinámica urbanas. Esta región consiste en un mosaico complejo de paisajes culturales, que abarcan desde la ciudad colonial y neocolonial, la ciudad republicana antigua y moderna, la ciudad popular periférica, y la ciudad socialista revolucionaria.

La interpretación, clasificación y cartografía de los paisajes con el uso de técnicas de procesamiento digital de imágenes, y con un enfoque de análisis orientado a objetos, conllevó a un proceso de segmentación automática que posibilitó: (i) elevar la calidad de la interpretación de los elementos que componen las unidades geoecológicas; (ii) realizar estudios de lo general (área completa) a lo particular, que en este caso lo constituyeron las unidades geoecológicas de primer orden (paisajes naturales) y segundo orden (paisajes culturales); (iii) delinear de manera automática y en forma de áreas (segmentos) las unidades de paisaje, lo cual evitó la aparición de los pequeños polígonos que surgen producto de la clasificación pixel a pixel y disminuyó considerablemente el tiempo de cartografiado; y (iv) analizar objetivos ubicados en lugares de difícil acceso.

El proceso de clasificación cuenta con numerosos descriptores de tono, textura, forma, entropía, o valores de bandas espectrales (entre otros) para discriminar mejor las clases informacionales y da la posibilidad de insertar como descriptores los datos generados del Modelo Digital de Elevación, lo cual aportó mayor rigor tecnológico a los mapas de paisaje resultantes.

Agradecimientos

A José Martí por la oportunidad brindada al coautor Iván Noguera Corral de realizar la estancia de investigación en La Habana que dio origen a esta investigación.

Referencias

CAESAR. *Sostenibilidad espacial y ambiental de la provincia Ciudad de la Habana. Informe de los resultados del Proyecto Caesar*. Ministerio de Educación Superior. Facultad de Geografía. Universidad de la Habana, Cuba, 2004.

CHUVIECO, Emilio. *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Ediciones RIALP (3ª ed.), Madrid, España, 1996.

CHUVIECO, Emilio. *Teledetección Ambiental. La observación de la tierra desde el espacio*. Edición Ariel Ciencia, Madrid, España, 2001.

GÓMEZ, Y. Cambios del uso de la tierra en la reserva de la biosfera Sierra del Rosario a partir del procesamiento digital de imágenes de satélite. En: Montesinos Aranda, Salomón y Fernández Fornos, Lara (Eds.). *Teledetección: Agua y desarrollo sostenible*. XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección, Calatayud, 23-26 de septiembre, p. 221-224, 2009.

GONZALEZ REGO, René. *Geografía Urbana*. Editorial Félix Varela, La Habana, Cuba, 2016.

MADUREIRA, Carla; SANTOS DO ROSARIO, Luana; BUENO DE ABREU, Marcelo; MOURA DE ALMEIDA, Paula Maria; VICENS, Raúl, MENDES CRONEMBERGER, Felipe. Classificação Orientada a Objetos na Geração do Mapa de Uso e Cobertura da Terra do estado do Rio de Janeiro. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. INPE, Natal, Brasil, 2009, pp. 7.789-7.796.

MARTÍNEZ, Ayesa; BOLLO MANENT, Manuel. Aplicación del enfoque geoecológico para la interpretación espacial de los niveles de urbanización. *Economía, sociedad y territorio*, 2017, vol. XVII, nº 53, pp. 115-144.

MATEO, José M. *Los paisajes de la región geográfica de La Habana*. Facultad de Geografía, Universidad de La Habana, Cuba, 2016.

MATEO, José M. *Paisajes Culturales. Geografía de los Paisajes*. Editorial Félix Varela (primera parte). La Habana, Cuba, 2013.

MATEO, José M. *Paisajes Naturales. Geografía de los Paisajes*. Editorial Félix Varela (primera parte). La Habana, Cuba, 2011.

MENDES, Felipe. *Análise geoecológica da dinâmica da paisagem da Serra do Mar no estado do Rio de Janeiro*. Universidade Federal Fluminense. Centro de Estudos Gerais. Instituto de Geociências. Programa de Pós Graduação em Geografia, 2014.

RAMÓN PUEBLA, Adonis Maikel; SALINAS, Eduardo; REMOND NOA, Ricardo. Diseño metodológico para la elaboración de mapas de paisajes con el uso de los SIG: Aplicación a la cuenca alta del Río Cauto, Cuba. Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GeoSIG), 2009, vol. 1, nº 1, pp. 95-108.

RODRIGUEZ, R. *Delimitación y caracterización de las unidades morfométricas de relieve en un sector del municipio Viñales teniendo en cuenta el uso de la tierra y algunos componentes naturales*. Tesis doctoral, Facultad de Geografía, Universidad de la Habana, Cuba, 2005.

SALINAS, E.; GARCÍA, A.; MIRAVET, B.L.; REMOND, R.; CRUAÑAS, E. Delimitación, clasificación y cartografía de los paisajes de la cuenca Ariguanabo, Cuba, mediante el uso de los SIG. *Revista Geográfica del IPGH*, 2013, nº 154, pp. 9-30.