



## LA CONSIDERACIÓN DE LA HETEROGENEIDAD DEL MOSAICO PAISAJÍSTICO EN LA CARTOGRAFÍA DE UNIDADES DE PAISAJE. APLICACIÓN AL CASO DE LA ISLA CENTRAL DE PUERTO RICO

Sandra A. Soto-Bayó

Josep Pintó

Laboratori d'Anàlisi i Gestió del Paisatge (LAGP). Universitat de Girona

### 1. Introducción

#### 1.1 Tema de estudio

El paisaje se refiere, por una parte, a la morfología del espacio geográfico. Al mosaico de elementos que se disponen en unas determinadas proporciones de número, forma, posición geográfica y superficie y que caracterizan un espacio determinado. Todos los territorios poseen una fisonomía particular que se deriva del entramado espacial de los elementos visibles en la superficie terrestre y esta fisonomía es el componente morfológico del paisaje.

Por otra parte, el concepto de paisaje incorpora la estructura subyacente o el conjunto de elementos, agentes y procesos interrelacionados, de tipo natural, socioeconómico y cultural, que opera en un sector determinado de la superficie terrestre y que es la responsable de la morfología que presenta el paisaje. Es en este sentido que MARTÍNEZ DE PISÓN (1998) considera el paisaje la manifestación formal de los hechos geográficos.

Se pueden identificar por tanto diferentes tipos de paisaje tanto en un sentido tipológico como corológico. En un sentido tipológico, un tipo de paisaje es, por ejemplo, el “deltaico”, que puede ser descrito, caracterizado y observado en diferentes localizaciones geográficas. En sentido corológico, por el contrario, un paisaje como el del delta del Ebro, por ejemplo, se refiere a un caso específico del paisaje de tipo “deltaico” presente en una localidad concreta. Así, las unidades corológicas son únicas debido a su particular situación geográfica, génesis, configuración, dinámica y relación con los paisajes circundantes.

Para la delimitación de unidades de paisaje se distinguen dos grandes tipos de metodologías. Por un lado las metodologías denominadas sintéticas establecen divisiones o agrupaciones de áreas territoriales a partir del reconocimiento de la homogeneidad del paisaje. El criterio fundamental es la identificación de las discontinuidades paisajísticas más relevantes. Este método tiene sus primeros antecedentes en los trabajos de reconocimiento del territorio efectuados por el CSIRO australiano en las décadas de los años 50 y 60 del siglo pasado y fue adoptado y modificado más tarde por la FAO (1976) en el reconocimiento de los recursos territoriales de los países subdesarrollados. La escuela de la *Landscape Ecology* de TROLL (1950) y la Geografía de los Ecosistemas de BAILEY (1998) también utilizan un método sintético para la delimitación de unidades de paisaje. En España ésta ha sido la metodología utilizada en la identificación de las unidades de paisaje del «Atlas del Paisaje de España» (MATA y SANZ, 2002).

Las metodologías denominadas de tipo analítico utilizan la superposición o agregación de capas de información territorial sobre los elementos del paisaje que se consideran relevantes. Las unidades de paisaje se definen a partir de la integración de forma visual o cuantitativa de la información de los diferentes mapas temáticos. Este método fue introducido por McHARG (1969) y actualmente es seguido por VAN EETWELDE y ANTROP (2004) en los trabajos de caracterización del paisaje de Bélgica, aunque enriquecido por la introducción de procedimientos de base estadística y la utilización de los Sistemas de Información Geográfica en el análisis y la integración de los elementos del paisaje.

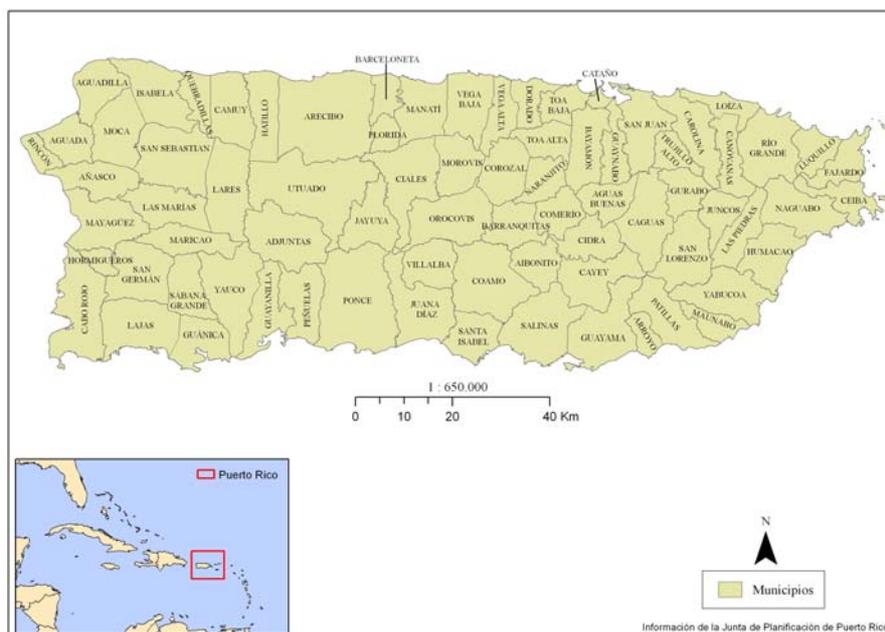
En este trabajo se ha seguido una metodología de tipo analítico para delimitar las grandes unidades de paisaje de la isla principal de Puerto Rico, a partir de la utilización de las capas de información sobre la geología, la altitud, las cubiertas de suelo, la “rugosidad del terreno” y la heterogeneidad o entropía del paisaje.

Se pretende distinguir unidades con un alto grado de homogeneidad y que se diferencien netamente de las unidades vecinas, en el supuesto que la homogeneidad del paisaje es relativa, es una cuestión de escala, ya que precisamente una propiedad del paisaje es su diversidad interna, la cual se manifiesta nítidamente a medida que aumenta el detalle de la escala de observación.

### 1.2 Zona de estudio

Puerto Rico es un archipiélago compuesto por una isla central y las islas limítrofes de Vieques, Culebra, Caja de Muertos y Mona junto con varios islotes y cayos circundantes. El área total de todas las islas que lo componen es de aproximadamente 8.896 km<sup>2</sup>. La isla central, Vieques y Culebra son las únicas que se encuentran pobladas en la actualidad y que además conforman sus 78 municipios. (Figura 1) Este archipiélago es el más oriental de la zona de las Antillas Mayores, dentro de la cuenca del Caribe.

Figura 1. Localización relativa de Puerto Rico y sus municipios.



Este trabajo se centra en la isla central de Puerto Rico, la cual tiene una extensión de 178,6 Km de largo y 62,8 Km de ancho, y mide alrededor de 8.746 Km<sup>2</sup>. Las coordenadas que resumen su centro son 18° 15' norte y 66° 30' oeste. La isla se divide en tres grandes zonas geomórficas que MONROE (1977) define como la Provincia del Interior Montañoso Central, la Provincia del Carso Norteño y la Provincia de los Llanos Costeros. El pico más alto es el Cerro Punta que se encuentra dentro del Interior Montañoso y cuenta con 1.338 metros de altura.

Estas diferencias topográficas inciden en el efecto que tienen los vientos alisios en la superficie. Existe un gradiente marcado de humedad y precipitación entre las zonas norte-noreste y sur-suroeste de la isla central. La cadena central de montañas sirve como barrera para estos vientos provenientes del noreste causando lluvias orográficas a lo largo de la zona norte y nordeste de la isla. Esto tiene un efecto en la distribución de las formaciones vegetales. En términos generales, a lo largo de la costa norte y este, se encuentran los bosques semi-caducifolios. A medida que aumenta la altitud en la cordillera central aparecen los bosques húmedos, los bosques muy húmedos submontanos y montano bajos y las formaciones de bosques pluviales. A lo largo de la cresta de esta zona montañosa se encuentran los bosques nubosos. En las zonas oeste y sur de la isla predominan los bosques secos (HELMER et al. 2002). La formación vegetal más común es el bosque subtropical húmedo que presenta precipitaciones promedio entre 1100 y 2200 mm/año y zonas abundantes en caducifolios y epifitos, como los helechos, las orquídeas y las bromelias.

La isla ha pasado de tener una sociedad predominantemente agraria a principios del siglo XX, a una sociedad predominantemente de servicios y manufactura para finales del siglo XX (LUGO 2002). Esto coincidió con grandes transformaciones en sus cubiertas y usos de suelo. Desde comienzos del siglo XX, la isla comenzó a ser deforestada por el incremento en la agricultura, la expansión urbanística y otros usos de suelo incompatibles con las zonas de bosque, presentando un pico de deforestación durante la década del 1940 (AIDE et al. 1995). Fue en esta época cuando comenzó a invertirse este proceso y la isla comenzó a recuperar terrenos de bosque. En la década del 1940, el 7 por ciento de la isla estaba cubierta por bosque, en el 1990 la cubierta vegetal llegó a cerca del 30 por ciento (BIRDSEY y WEAVER 1987; AIDE 1995). El aumento en la cubierta vegetal de la isla principalmente ha sido a expensas de los terrenos dedicados a la agricultura, ya que las zonas urbanas han continuado creciendo. Las zonas urbanas han aumentado su superficie desde un 11,3 por ciento en 1977 al 14,4 por ciento en 1994 (LÓPEZ MARRERO et al. 2001). Estos cambios en los usos de suelo ocurrieron paralelos a un movimiento poblacional del interior montañoso hasta los llanos costeros, especialmente a los alrededores de la zona metropolitana de San Juan, al noreste de la isla (LUGO 2002).

### **1.3 Objetivos**

La estructura actual del paisaje es el resultado de su dinámica en el pasado, ya que depende de la historia de las sociedades y la tecnología que se han desarrollado (BUREL y BAUDRY 2002, 23). El caso de Puerto Rico es un buen ejemplo de ello, las cubiertas de suelo actuales son el producto de siglos de cambios en los usos que se le han dado al territorio. Por ejemplo, las zonas de bosque denso que hoy día ocupan grandes extensiones del interior montañoso central y que antiguamente eran ocupadas

por campos agrícolas o asentamientos humanos, poseen una composición de flora muy diferente a la de sus predecesores localizados allí antes del impacto humano.

Estos cambios a su vez tienen un efecto en las comunidades y ecosistemas presentes en el territorio; y más aun, sobre los tipos de paisaje que lo componen. Por esta razón, en este trabajo se pretende delimitar unidades de paisaje a partir del análisis de capas de información de tipo ambiental y humano. Las variables incluidas en el análisis, son la geología, la topografía (elevaciones y rugosidad del terreno) y las cubiertas del suelo. En el ámbito de este trabajo fue relevante incluir una variable adicional que cuantifique la heterogeneidad del paisaje. Esta comunicación se centrará en describir el proceso de elaboración de esta capa de entropía o heterogeneidad paisajística.

## **2. Metodología**

Para la zona de Estados Unidos y el Caribe se han desarrollado clasificaciones ecológicas o geoclimáticas del territorio, tomando en consideración aspectos geográficos, geológicos y/o climáticos (OMERNIK 1987; BAILEY 1983). Generalmente, estas clasificaciones que se construyen para escalas muy pequeñas, es decir, ocupando una gran extensión de territorio, suelen ser demasiado generales para ser aplicadas a islas tropicales (HELMER et al. 2002). Esto se debe al hecho de que a pesar de su corta extensión, las islas tropicales son topográfica y ecológicamente diversas (LUGO 2002) y generalmente estos sistemas de clasificación se construyen a una escala tan general que ubican a la isla dentro de una sola clase.

En particular para Puerto Rico se han desarrollado las regiones geográficas de Rafael PICÓ (1950), las zonas de vida ecológicas de EWEL y WHITMORE (1973), las unidades fisiográficas de Watson MONROE (1977) y las zonas geoclimáticas de FIGUERO-COLÓN (1996). En estos trabajos se realiza una caracterización fisiográfica de la isla por medio de la incorporación de variables geomórficas, topográficas, climatológicas y/o de la flora, entre otras. En este trabajo, se intenta realizar una clasificación del paisaje, a partir de la incorporación de variables fisiográficas y humanas del territorio. No se limita a realizar una caracterización física del territorio, más bien a evaluar cómo los componentes físicos y ambientales se combinan con las cubiertas de suelo y con la heterogeneidad del paisaje para constituir zonas con una cierta uniformidad paisajística. El producto final será la delimitación de unidades de paisaje. Es decir, regiones que comparten un mismo tipo de paisaje. Para el análisis se incluirán las capas sobre geología, elevaciones, cubiertas de suelo, entropía y rugosidad del terreno. Para determinar los grupos “naturales” que conforman cada tipo de paisaje, se realizó un análisis de conglomerados, “cluster analysis”, en SPSS (Versión 15).

### ***2.1 Incorporación de las capas de información y preparación de los datos***

Para la construcción de la capa de entropía, se utilizó la capa de cubiertas de suelo de la oficina de Sistemas de Información Geográfica, del Servicio Forestal de los Estados Unidos (HELMER et al. 2002). Esta capa ráster fue desarrollada a partir de una imagen Landsat TM de los años 1991/1992 con una resolución de 30 metros. Entre las 33 cubiertas de suelo que la conforman se distinguen hasta 25 formaciones vegetales. La última actualización sobre esta capa y sobre la clasificación de la vegetación se realizó en el 2003 (HELMER et al. 2002). Ésta se encuentra en la proyección NAD 1983 en unidades planas estatales para Puerto Rico y las Islas Vírgenes.

## 2.2 Construcción de la capa de entropía

La capa de heterogeneidad paisajística, o entropía, se ha construido a partir de la capa ráster de cubiertas de suelo del Servicio Forestal de los Estados Unidos (HELMER et al. 2002). Esta capa se encuentra clasificada a un nivel muy detallado, por lo que se reclasificó utilizando la extensión Spatial Analyst del programa ArcView (ESRI 2005). Las 33 cubiertas de suelo que forman esta capa de información, se reclasificaron en 12 cubiertas más generales. (Tabla 1, Figura 2 y Figura 3) Con esta nueva clasificación se buscaba obtener unidades paisajísticas claramente distinguibles, pero a un grado de detalle más general.

Figura 2. Cubiertas de suelo (HELMER et al. 2002)

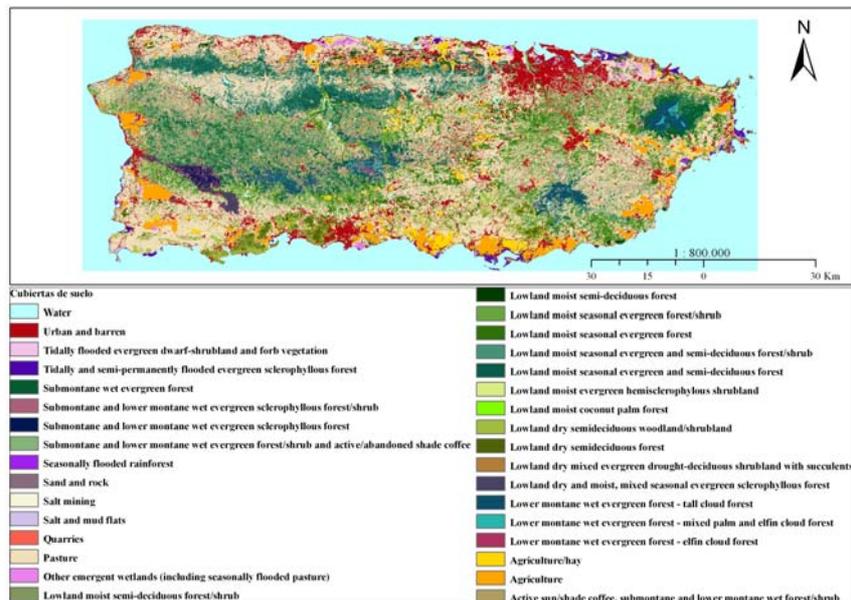


Figura 3. Mapa reclasificado de las cubiertas de suelo

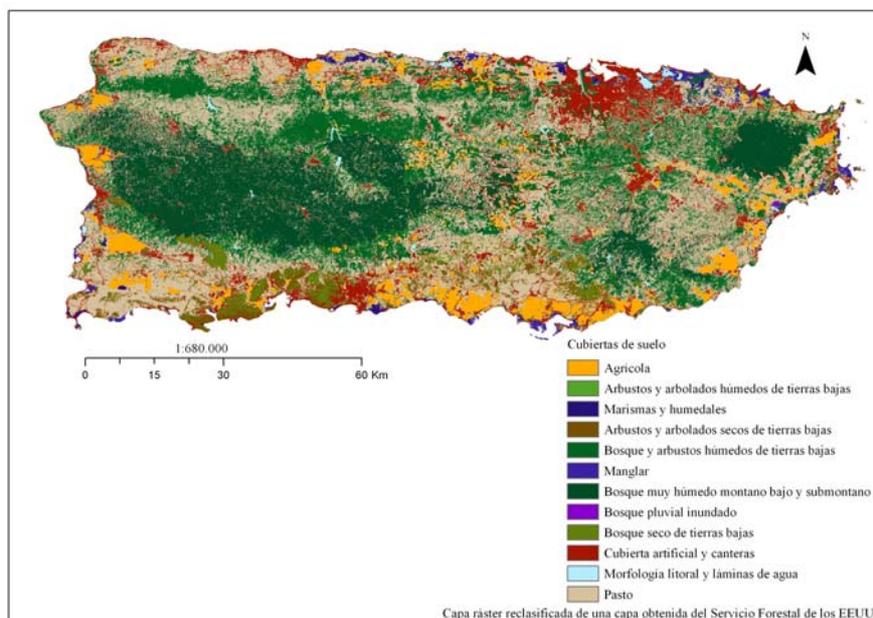




Tabla 1. Reclasificación de las cubiertas de suelo

Valor original	Clasificación original	Clasificación final	Valor final
0	Water	No asignado	0
1	Lowland dry semideciduous forest	Bosque seco de tierras bajas	9
2	Lowland dry semideciduous woodland/shrubland	Arbusto/Arbolado seco de tierras bajas	4
3	Lowland dry mixed evergreen drought-deciduous shrubland with succulents	Arbusto/Arbolado seco de tierras bajas	4
4	Lowland dry and moist, mixed seasonal evergreen sclerophyllous forest	Bosque seco y húmedo de tierras bajas	9
5	Lowland moist evergreen hemisclerophyllous shrubland	Arbusto/Arbolado húmedo de tierras bajas	2
6	Lowland moist seasonal evergreen forest	Bosque húmedo de tierras bajas	5
7	Lowland moist seasonal evergreen forest/shrub	Bosque/Arbustos húmedos de tierras bajas	5
8	Lowland moist coconut palm forest	Bosque húmedo de tierras bajas	5
9	Lowland moist semi-deciduous forest	Bosque húmedo de tierras bajas	5
10	Lowland moist semi-deciduous forest/shrub	Bosque/Arbustos húmedos de tierras bajas	5
11	Lowland moist seasonal evergreen and semi-deciduous forest	Bosque húmedo de tierras bajas	5
12	Lowland moist seasonal evergreen and semi-deciduous forest/shrub	Bosque/Arbustos húmedos de tierras bajas	5
13	Submontane and lower montane wet evergreen sclerophyllous forest	Bosque muy húmedo montano bajo y submontano	7
14	Submontane and lower montane wet evergreen sclerophyllous forest/shrub	Bosque/Arbustos muy húmedos submontanos y montano bajos	7
15	Submontane wet evergreen forest	Bosque muy húmedo submontano	7
16	Active sun/shade coffee, submontane and lower montane wet forest/shrub	Bosque/Arbustos muy húmedos submontanos y montano bajos	7
17	Submontane and lower montane wet evergreen forest/shrub and active/abandoned shade coffee	Bosque/Arbustos muy húmedos submontanos y montano bajos	7
18	Lower montane wet evergreen forest - tall and palm cloud forest	Bosque muy húmedo montano bajo	7
19	Lower montane wet evergreen forest - mixed palm and elfin cloud forest	Bosque muy húmedo montano bajo	7
20	Lower montane wet evergreen forest - elfin cloud forest	Bosque muy húmedo montano bajo	7
Valor original	Clasificación original	Clasificación final	Valor final
21	Tidally and semi-permanently flooded evergreen sclerophyllous forest	Manglar	6
22	Seasonally flooded rainforest	Bosque pluvial inundado	8
23	Tidally flooded evergreen dwarf-shrubland and forb vegetation	Marismas y humedales	3
24	Other emergent wetlands (including seasonally flooded pasture)	Marismas y humedales	3
25	Salt and mud flats	Marismas y humedales	3
26	Pasture	Pasto	12
27	Agriculture/hay	Agrícola	1
28	Agriculture	Agrícola	1
29	Urban and barren	Cubierta artificial	10
30	Sand and rock	Cantera	10
31	Quarries	Cantera	10
32	Salt mining	Cantera	10
33	Water	Morfología litoral y láminas de agua	11

La entropía permite medir y visualizar la variabilidad o heterogeneidad del territorio por medio del cálculo del número y el área del total de cubiertas de suelo que se encuentran

dentro de cada unidad mínima espacial de análisis, que en este caso son las celdas de la malla. Por esta razón, este índice también se puede definir como la probabilidad de que el contenido de las celdas esté concentrado en una clase o más bien difuso a lo largo de un mayor número de clases (GOODCHILD et al. 1994).

Para realizar el cálculo primero se construye un “vector de membresía”, que indica el contenido de cubiertas de suelo de cada celda de la malla. Este “vector de membresía” se define como la pertenencia de cada celda a cada una de las clases analizadas, que en este caso son las 12 cubiertas de suelo. Para cada celda, el “vector de membresía” se define de la siguiente forma  $\{\Pi_1(x), \Pi_2(x), \Pi_3(x), \dots, \Pi_n(x)\}$ , en donde cada  $\Pi(x)$  es el contenido de cada tipo de cubierta (GOODCHILD et al. 1994), para un total  $n$  de cubiertas. A partir de este vector se construye el índice de entropía definido como:

$$H(x) = -1 \left[ \frac{1}{\log_e n} \sum_i P_i(x) \log_e P_i(x) \right] \quad (1)$$

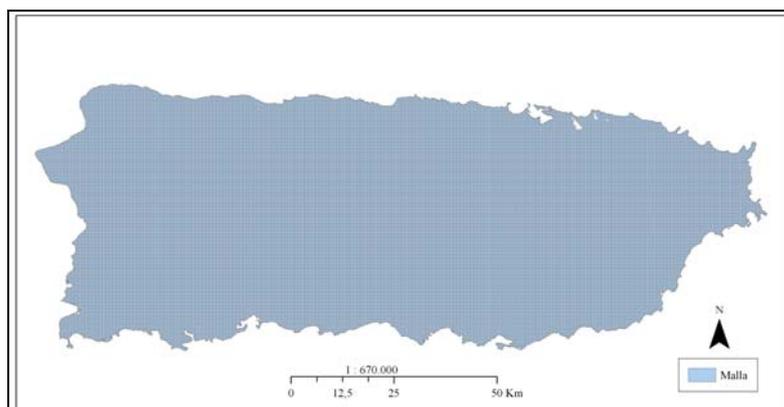
(GOODCHILD et al. 1994)

En donde  $H(x)$  es la entropía asociada a cada una de las celdas evaluadas;  $P_i(x)$  es la probabilidad de que la celda  $x$  pertenezca a la cubierta  $i$ , de  $n$  total de cubiertas (GOODCHILD et al. 1994). El valor de probabilidad de  $P_i(x)$  se calculó en función del área de la celda  $x$  que consiste de cada tipo de cubierta de suelo  $i$ . Para una explicación más detallada sobre el cálculo de  $P_i(x)$  ver GOODCHILD et al. (1994). El índice de entropía varía entre (0 y 1), donde las celdas con valor 0 contienen un sólo tipo de cubierta de suelo, mientras que en las celdas con valor 1 todas las cubiertas poseen probabilidad  $1/n$  (GOODCHILD et al. 1994).

### 2.3 Construcción de la malla de información

Las variables incorporadas en el análisis debían estructurarse en forma de matriz. Por esta razón, se utilizó un “script” en el programa ArcView para construir una malla en formato vectorial con resolución de 500 m que cubriera toda la zona de estudio (PINTÓ y MIQUEL, en prensa). A esta malla se le aplicó un “clip” para que sus bordes coincidieran exactamente con las fronteras de la isla central de Puerto Rico. La mayoría de las celdas poseen un área total de  $250.000 \text{ m}^2$ , excepto las celdas que bordean la zona de estudio que cuentan con un área menor. Además, se aplicó la herramienta “Multi-part to single-part” de ArcView, para que cada celda formara una única unidad en la base de datos. Así se consiguió una malla de 35.760 celdas. (Figura 4)

Figura 4. Malla de información



Los valores de cada capa de información se añadieron a la malla con la herramienta ‘Zonal Statistics’ de la extensión Spatial Analyst. El resultado de este procedimiento se exportó a un archivo Excel, que luego sería incorporado al programa SPSS para calcular el análisis de conglomerados.

### 3. Resultados

#### 3.1 Construcción de la capa de entropía y su distribución

El cálculo de entropía se realizó para las 35.760 celdas incluidas en el análisis. (Tabla 2) La heterogeneidad medida con este índice permite observar la fragmentación de cubiertas del suelo dentro de un territorio; y por esto, permite evaluar cuán difusa es su distribución. Para su cálculo se tomó en consideración el área que ocupa cada cubierta dentro de cada unidad mínima de análisis. Por esto, pueden existir dos celdas con el mismo número de cubiertas de suelo, pero si éstas ocupan un área total diferente dentro de cada celda, cada una tendrá un valor de entropía distinto. (Figura 5) Para la isla central de Puerto Rico, la entropía varía entre 0 y 0,79, con el 75 por ciento de los casos por debajo de 0,37. (Figura 6) Por encima del valor 0,69 hay 20 valores atípicos hasta llegar a 0,79. Esto muestra la dualidad en los usos de suelo que predominan en la isla. Tal y como se puede observar en la figura 3, el interior montañoso está cubierto por una masa continua de bosque denso, mientras que las actividades humanas y las cubiertas de suelo relacionadas con estos usos predominan a lo largo de los llanos costeros. Entre estas dos zonas, se extienden regiones continuas de pasto.

Tabla 2. Muestra de los resultados de entropía

ID Celda	Entropía
1	0,47
2	0,47
3	0,51
4	0,41
5	0,39
6	0,37
7	0,25
8	0,30
9	0,38
10	0,34
11	0,17
12	0,36
13	0,38
14	0,35
15	0,17
16	0,07
17	0,40
18	0,45
19	0,33
20	0,32

El promedio de entropía para toda la isla es de 0,26 de heterogeneidad. El hecho de que a lo largo de la isla predominan valores bajos de este índice significa que está cubierta

por paisajes extensos con un mismo tipo de cubierta de suelo y por consiguiente domina la homogeneidad paisajística. Las zonas con valores por debajo de los 0,30 de entropía ( $< 0,30$ ) están dispersos por toda la isla, aunque destacan varias zonas claramente visibles. Éstas se encuentran en los bosques densos del interior montañoso central, la zona metropolitana de San Juan y en algunos parches agrícolas menos extensos. (Figura 6) Las cubiertas de suelo que coinciden con esta zona son el bosque húmedo de tierras bajas, el bosque muy húmedo montano bajo y submontano, el agrícola, los pastos y la cubierta artificial. Esto quiere decir, que estos usos de suelo destacan en los paisajes más homogéneos.

Figura 5. Comparación de los resultados del índice de entropía entre dos celdas

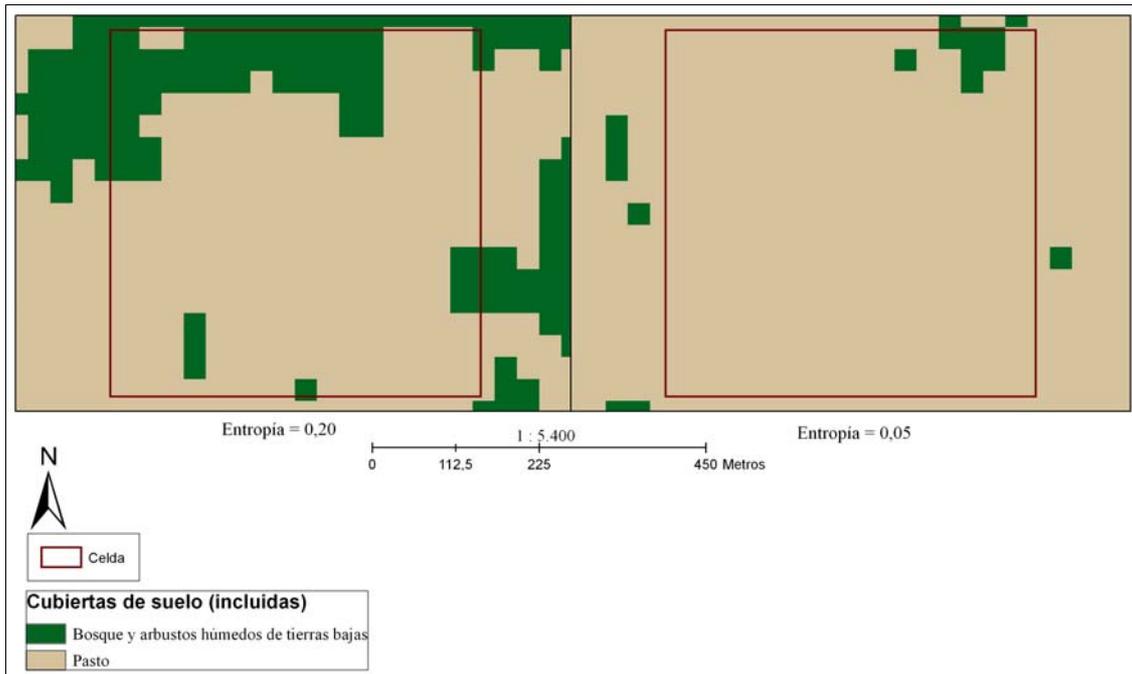
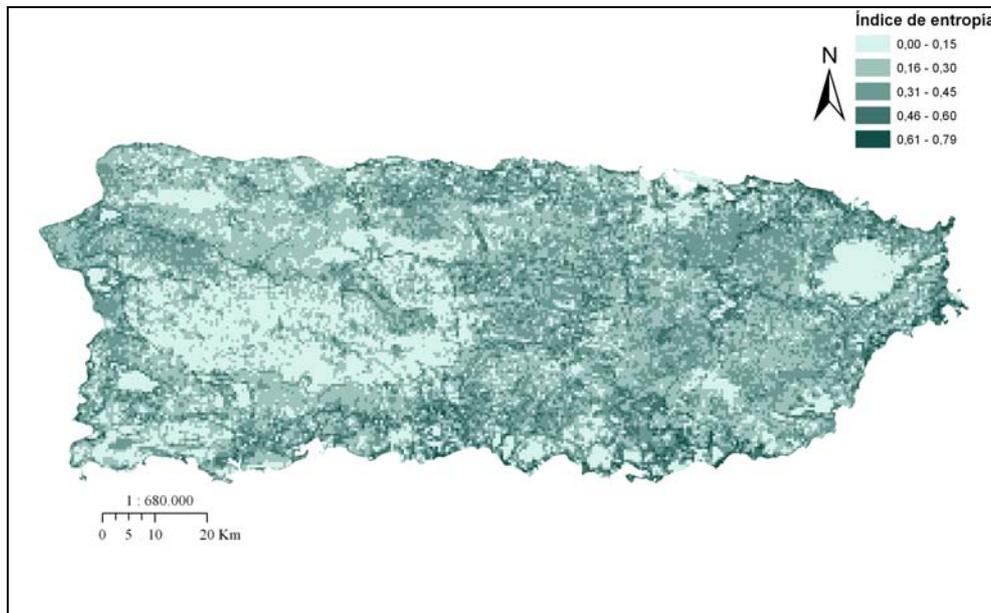


Figura 6. Índice de entropía del paisaje, isla central de Puerto Rico



Por otra parte, las zonas con valores altos de entropía ( $> 0,60$ ) se extienden primordialmente a lo largo del litoral costero. En el centro de la isla, las pocas celdas con altos índices de entropía tienden a localizarse en zonas periféricas, alejadas de los centros urbanos de estos municipios. Las regiones de alta entropía son las que menos extensión de territorio ocupan. Los territorios con valores intermedios de entropía (entre 0,31 y 0,60) se encuentran dispersos a lo largo de toda la isla.

En la tabla 3 se puede observar el número total de celdas y el área total que ocupa cada tasa de entropía, ya sean las zonas de tasa baja, media o alta.

**Tabla 3. Resumen de los resultados del índice de entropía**

CLASIFICACIÓN	VALOR ENTROPÍA	NÚM. CELDAS	ÁREA TOTAL (Km <sup>2</sup> )
Baja	$< 0,30$	21.513	5.239,91
Media	0,31 – 0,60	14.003	3.408,45
Alta	$> 0,61$	244	55,12
<b>TOTAL DE LA CAPA</b>	0 – 0,79	35.760	8.703,48

Esta tabla muestra cómo las zonas con índices bajos de entropía predominan a lo largo de la isla de Puerto Rico, ocupando 21.513 celdas y un área total de 5.239,9 Km<sup>2</sup>. Las zonas con un índice medio (entre 0,31 y 0,60) ocupan por su parte 14.003 celdas y 3.408,5 Km<sup>2</sup>. Hay muy pocas zonas con índices altos de heterogeneidad: 244 celdas y 55,1 Km<sup>2</sup>.

#### 4. Conclusiones

En el ámbito de una investigación más extensa, sobre la identificación de unidades de paisaje, se ha incluido una capa que muestre la heterogeneidad del paisaje. Esta capa cuantifica la variabilidad de las cubiertas de suelo para la isla central del archipiélago de Puerto Rico. Para la elaboración de esta capa se incorporó una fórmula de entropía, que permite determinar cuán difusa es la distribución de cubiertas de suelo por cada unidad mínima espacial de análisis.

Se ha encontrado que para esta isla caribeña, los valores de entropía tienden a ser bajos, ya que el valor promedio es de 0,26 y el 75 por ciento de los casos se encuentran por debajo del valor 0,37. Se interpreta que este resultado se debe a la dualidad en los usos del suelo que predominan en la región, con zonas dedicadas casi únicamente a usos urbanos e industriales, mientras el bosque denso continúa creciendo en el interior montañoso central. Entre ambas regiones, se extiende una zona de pasto que se podría denominar de transición entre los bosques densos y la región litoral. Las cubiertas del suelo que predominan en los paisajes más homogéneos, con grupos de celdas contiguas con baja entropía, son el bosque húmedo de tierras bajas, el bosque muy húmedo montano bajo y submontano, el agrícola, los pastos y la cubierta artificial. Las zonas con un índice alto de heterogeneidad se encuentran principalmente localizadas a lo largo de la región litoral.



## Agradecimientos

Este trabajo se enmarca en el proyecto de investigación: “Delimitación funcional de los elementos de conservación como objetivo de la gestión integrada de zonas costeras: la estructura ecológica principal”. N°Ref. CGL2006-13953-C04-02/BOS, que ha recibido una ayuda del Ministerio de Educación y Ciencia.

## Referencias

- AIDE, T. M. et al. 1995. “Forest recovery in abandoned tropical pastures in Puerto Rico”. *Forest Ecology and Management* 77: 77 – 86.
- BAILEY, R. G. 1983. “Delineation of ecosystem regions”. *Environmental Management* 7 (4): 365 – 373.
- BAILEY, R. (1998). *Ecoregions : the ecosystem geography of the oceans and continents*. Nueva York: Springer-Verlag.
- BIRDSEY, R. A. y P. L. WEAVER. Souther Forest Experiment Station, U. S. Forest Service, U. S. Department of Agriculture. 1987. *Forest area trends in Puerto Rico*. Resource Bulletin SO - 331.
- BUREL, F. y J. BAUDRY. 2002. *Ecología del paisaje: conceptos, métodos y aplicaciones*. Madrid: Mundi-Prensa.
- EWEL, J. J. y J. L. WHITMORE. Institute of Tropical Forestry, U.S. Forest Service, U.S. Department of Agriculture. 1973. *The Ecological Life Zones of Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands*. Research Paper ITF-18.
- FAO (1976). Roma: *Framework of land evaluation*.
- FIGUEROA-COLÓN, J.C. Water Resources Division. U.S. Geological Survey, U.S. Department of the Interior. 1996b. *Geoclimatic regions of Puerto Rico* (map). San Juan, Puerto Rico.
- GOODCHILD, M.F., LIN CHIH-CHANG y Y. LEUNG. 1994. “Visualizing fuzzy maps”. En H.M. Hearnshaw y D.J. Unwin, editores. *Visualization in GIS*. New York: Wiley, pp. 158–167.
- HELMER, E. H. et al. 2002. “Mapping the forest type and land cover of Puerto Rico, a component of the Caribbean biodiversity hotspot”. *Caribbean Journal of Science* 38 (3 – 4): 165 – 183.
- LÓPEZ MARRERO, T. M., AIDE, T. M. y J. R. THOMLINSON. 2001. “Urban expansion and the loss of prime agricultural lands in Puerto Rico”. *Ambio* 30: 49 – 54.
- LUGO, A. E. 2002. “Can we manage tropical landscapes? – an answer from the Caribbean perspective”. *Landscape Ecology* 17: 601 – 615.
- MARTÍNEZ DE PISÓN, E. (1998). “El concepto de paisaje como instrumento de conocimiento ambiental”. En: Martínez de Pisón, editores. *Paisaje y Medio Ambiente*: 9-28. Fundación Duques de Soria y Universidad de Valladolid.
- MATA, R. y SANZ, C. (2003). *Atlas de los paisajes de España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.
- MONROE, W. 1977. “Las divisiones geomórficas de Puerto Rico”. En: M. T. Galiñanes, editor. *Geovisión de Puerto Rico; Aportaciones Recientes al Estudio de la Geografía*. Barcelona: Manuel Pareja.
- McHARG (1969). *Design with Nature*. Nueva York: Wiley & Sons.
- PICÓ, R., Z. BUITRAGO DE SANTIAGO y H. H. BERRÍOS. 1969. *Nueva geografía de Puerto Rico: Física, económica y social*. San Juan, Puerto Rico: Editorial Universitaria, Universidad de Puerto Rico.



- PINTÓ FUSALBA, P. y MIQUEL, X. (en prensa). “Cartografía de la diversidad paisajística, la fragmentación y la conectividad de los hábitats en el Camp de Tarragona”. En *Actas del IV Congreso Español de Biogeografía*. Universidad Complutense de Madrid.
- OMERNIK, J. M. 1987. “Ecoregions of the counterterminous United States”. *Annals of the Association of American Geographers* 77 (1): 118 – 125.
- TROLL, K. (1950). “Die geographische Landschaft und ihre Erforschung”. *Studium Generale* 4-5: 163-181.
- VAN EETWELDE, V. y ANTROP, M. (2004). “Towards landscape characterisation of Belgium. A new typology”. Presentation at the ELCAI-Workshop. Evora. Portugal, 2-4 Junn 2004. <http://geoweb.UGent.be/services/index.asp>. 6 de noviembre de 2007.