

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA DELIMITACION SEMIAUTOMÁTIZADA DE UNIDADES DE PAISAJE DE NÍVEL LOCAL

Eduardo Salinas Chávez¹
Adonis M. Ramón Puebla²

Resumen: A partir de la experiencia adquirida en la realización de mapas de paisajes, con el empleo de las herramientas presentes en los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los autores presentan una propuesta metodológica para la confección de mapas de paisaje con un enfoque topológico, que se basa en la distinción de geocomplejos de carácter local, formados por la interacción de los componentes naturales y la acción humana, que se caracterizan por poseer rasgos particulares (MATEO, 2008). El procedimiento metodológico que se describe para la delimitación de las unidades de paisajes se realiza con las herramientas de análisis espacial presentes en el software ArcGIS Desktop. Una vez delimitadas estas unidades de paisaje, se explica el procedimiento de diferenciación y clasificación de las mismas, a partir del enfoque utilizado y la elaboración de su correspondiente leyenda temática. Vale la pena aclarar que el procedimiento propuesto no constituye algo cerrado, sino una guía que puede y debe ser enriquecida por parte de los usuarios.

Palabras claves: Paisajes, ArcGIS Desktop; análisis espacial; cartografía de paisajes.

METHODOLOGICAL PROPOSAL FOR SEMIAUTOMATIC DELIMITATION OF LANDSCAPES UNITS OF LOCAL LEVEL

ABSTRACT: From the experience gained from the mapping of landscapes, with the use of the tools presented in the Geographic Information Systems (GIS), the authors present a methodology for mapping of landscape with a topological approach, which distinction is based on the local character of landscapes, based on the interaction between the natural components and human action, which are characterized by particular traits (MATEO, 2008). The methodological procedure described for the delineation of landscape units is done with the spatial analysis tools presented in ArcGIS Desktop Software. Once defined these landscape units, it is explained the procedure of differentiation and classification of them, from the approach used and the development of its corresponding thematic legend. It is important to say that the proposed procedure is not something closed, but a guide that can and should be enriched by users.

Key words: Landscape, ArcGIS Desktop; spatial analysis; landscape cartography.

¹ Facultad de Geografía – Universidad de Havana - Cuba. E-mail: esalinas@geo.uh.cu

² Órgano de Montaña, provincia Gramma-CITMA-Cuba. E-mail: omsm@granma.inf.cu

INTRODUCCIÓN

Los paisajes geográficos o geosistemas como categoría científica de carácter transdisciplinario son sistemas espacio-temporales complejos y abiertos integrados por elementos naturales y antrópicos, condicionados socialmente, que modifican las propiedades de los paisajes naturales originales, los cuales poseen una estructura, funcionamiento, dinámica y evolución particulares que les confieren propiedades de integridad, límites propios y se constituyen en una asociación de objetos y fenómenos que están en constante y compleja interacción y movimiento; presentando una jerarquización al interior de sus componentes, constituyéndose así en verdaderos espacios naturales que las sociedades transforman para producir, habitar, vivir y soñar (MATEO, 2008; SALINAS, 1991 e 2001).

Estos paisajes se constituyen en la base para la realización de numerosas investigaciones de carácter ambiental, que van desde los diagnósticos ambientales o geocológicos hasta el ordenamiento ambiental y territorial y más recientemente las Evaluaciones Ambientales Estratégicas, a partir del estudio de las propiedades y características de las unidades de paisajes, de forma tal que es posible proponer un modelo de uso y ocupación del territorio, que establezca los requisitos y recomendaciones para el uso racional y sostenible del espacio geográfico.

Para la cartografía de los paisajes, se han desarrollado una amplia gama de procedimientos a partir del empleo de los SIG, teniendo como objetivo primordial la obtención de una tipificación del territorio mediante la integración de sus componentes y procesos físico-geográficos y la acción del hombre en unas unidades de síntesis e integración conocidas como paisajes o geosistemas, (que no puede considerarse como un fin en sí mismo) sino que permita utilizar dichas unidades como fundamento para las fases de caracterización, diagnóstico, pronóstico y propuesta de uso del territorio en los ordenamientos territoriales y ecológicos o ambientales, entre otros usos con fines de planificación territorial (BERTRAND e BERTRAND, 2006; BOCCO *et al.*, 2009; PEREIRA *et al.*, 2011).

En esta tarea, el uso de un SIG es de gran ayuda, ya que permite contar con una serie de elementos, tanto para el almacenamiento, procesamiento y actualización de la información de los componentes del medio físico, así como la confección de una base cartográfica única para cada uno de ellos, dándonos la posibilidad mediante el análisis espacial, de integrar toda la información para la conformación de un mapa de paisajes. No obstante esto, para

muchos especialistas poder llegar a la delimitación, clasificación y cartografía de los paisajes, aun con el empleo y las ventajas que ofrecen los SIG, la obtención del mapa de paisajes, sigue constituyendo un serio problema por no tener muchas veces el conocimiento de que software y herramientas emplear, qué pasos dar, cómo darlos, qué enfoque utilizar, cómo diferenciar y clasificar los paisajes, y más importante aún, cómo elaborar la leyenda temática de dicho mapa.

En este sentido, en el presente trabajo se pretende ofrecer una especie de guía metodológica auxiliar, que sirva a cualquier especialista, con conocimientos básicos del ArcGIS Desktop, para elaborar un mapa de paisajes de forma semiautomatizada, con el fin de llegar a la diferenciación y la clasificación de los paisajes; y así brindar una pequeña contribución a la generalización de este importante enfoque en los estudios territoriales de carácter local.

Diferenciación y clasificación de los paisajes

La delimitación espacial de las unidades de paisajes es un proceso mediante el cual, a partir del uso de determinados enfoques de clasificación (tipológico, regional o topológico) se delimitan, clasifican y cartografían unidades relativamente homogéneas, según uno o varios criterios (variables o índices diagnósticos), y se representan en forma de mapas y bases de datos geográficos utilizando leyendas jerárquicas. En otras palabras, se trata de la determinación, de manera cualitativa o cuantitativa, de diferentes niveles de homogeneidad del territorio (BRUM *et al.*, 2001; KLIJN, 1994; MAZUR, 1989).

Las unidades de paisaje no pueden ser consideradas como el resultado de la simple suma de las partes que las constituyen sino como una categoría superior de integración que resulta de la interacción dinámica de sus componentes lo que le confieren propiedades diferentes, a las de cada componente por sí mismo, como resultado de las relaciones causales entre dichos elementos, convirtiéndose estas unidades en un instrumento valioso de comunicación y análisis que rápidamente pueden ser reconocidas por los ciudadanos, mucho más que si le hablásemos de zonas climáticas, tipos de suelo o formaciones vegetales de forma independiente (CERVANTES-BORJA e ALFARO- SANCHEZ, 1998; ETTER *et al.*, 1998).

Lo que según Bertrand (2006) permite concluir que el paisaje y la delimitación y cartografía de sus unidades favoreciendo la integración de sus componentes, lleva en si mismo una propuesta más holística para los estudios ambientales y facilita los procedimientos de

evaluación de los paisajes como un todo y no de sus elementos constituyentes de modo fragmentado lo que según Martinelli y Pedrotti (2001) establece que en la actualidad no podemos concebir más la representación de la realidad espacial y del espacio humano de forma analítica y fragmentada sino que debemos esforzarnos en la búsqueda de una cartografía de reintegración y de reconstrucción del todo.

La delimitación espacial de las unidades del paisaje se realiza atendiendo a factores como las dimensiones del territorio y su relación con la escala de trabajo, y al propio comportamiento de los componentes naturales. Cabe señalar que la importancia relativa de cada componente puede variar de un caso de estudio a otro, razón por la cual se puede plantear que no existe una regla absoluta para confeccionar un mapa de paisajes. Como tampoco, existe una regla que defina lo que se pueda hacer al respecto mediante el uso de los SIG (SALINAS e QUÍNTOLA, 2001; QUÍNTOLA *et al.*, 2001; PACHECO *et al.*, 2005; SCHULTE *et al.*, 1994).

En la actualidad, este enfoque en la realización de estudios del territorio se ha visto favorecido por el uso de los SIG, de los cuales existen numerosas definiciones, siendo quizás la más extendida y aceptada la que hizo el National Center for Geographic Information and Analysis (1997), que describe a los SIG como "Un sistema compuesto por elementos informáticos (hardware y software) y métodos diseñados para permitir la adquisición, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión".

Estas facilidades de manejo automatizado de la cartografía digital que brindan los software SIG, amplían la oportunidad de generar los inventarios de los elementos formadores del paisaje, que pueden interpretarse individualmente mediante la selección o la combinación de los mismos, así como mediante el cálculo de índices y posteriormente combinarse para asignar a cada parte del territorio un tipo de paisaje. Lo que se realiza a partir de la obtención de un esquema que permite su aplicación a la cartografía de paisaje.

La obtención del mapa de paisajes depende de varios presupuestos. Los más comunes, según Salinas y Quíntola (2001), Ramón *et al.*, (2009) y Ramón y Salinas (2012), son:

- La existencia de un Modelo Digital de Elevación (MDE) y de mapas temáticos sobre los componentes del medio físico: relieve, geología, suelos, hidrografía y clima, además del mapa de uso del suelo-vegetación (también conocido como mapa de cobertura vegetal).

- Es posible, a partir del análisis de la información temática, topográfica y/o imágenes satelitales, obtener un mapa preliminar de paisajes, que deberá ser completado definitivamente con su correspondiente trabajo de campo, con miras a su validación cartográfica.
- El proceso de integración se facilita mediante la superposición cartográfica y se puede auxiliar de las herramientas presentes en los SIG, aunque algunos geocomplejos como los valles de primer orden en los sistemas montañosos, las cimas o las partes morfológicas de algunas cimas, son difíciles de obtener con el uso de SIG y en ocasiones se pierden en el proceso de generalización, en estos casos, es conveniente acudir a las técnicas manuales tradicionales y digitalizarlos posteriormente.
- No todo el proceso, ni siquiera el de la confección del mapa preliminar de paisajes, puede llevarse a cabo de forma automatizada. Aun utilizando los SIG, la experiencia de los investigadores es de suma importancia.
- El principio cartográfico del área mínima cartografiar permite lograr coherencia en la representación espacial y eficiencia en la lectura y utilidad del mapa en formato impreso.

Este principio indica que a partir de determinada área espacial, los polígonos y sus correspondientes contenidos deben ser generalizados; de lo contrario, dificultarían la distinción por parte del usuario cuando se lea en formato analógico (SALITCHEV, 1979). La tabla 1 ofrece las áreas mínimas cartografiables (en m² y km²) para diferentes escalas de levantamiento cartográfico. Estas áreas deberán ser tomadas en cuenta para definir la composición de las unidades superiores, inferiores y básicas del mapa. Las sugerencias de área mínima deben ser consideradas como una guía y no como un valor absoluto (PRIEGO *et al.*, 2008). A nivel internacional, la más empleada es la de 5 x 5 mm (SALITCHEV, 1979), según la experiencia de Priego *et al.*, (2008) en trabajos realizados en México, indica que 4 x 4 mm es un área mínima que garantiza operatividad cartográfica y adecuada lectura del mapa. De todos modos, la complejidad del territorio de estudio determinará en última instancia la selección del área mínima y sus umbrales.

Para la diferenciación, la clasificación y la cartografía de los paisajes pueden emplearse tres enfoques, que lejos de contraponerse, como algunos afirman, se complementan y permiten

estudiar las regularidades de formación de los paisajes a diferentes escalas y en territorios muy variados, estos enfoques son: tipológico, regional y topológico o local.

Tabla 1. Área mínima cartografiable para diferentes escalas

Escala	1 cm igual a		1mm igual a		Área mínima cartografiable (4x4 mm)	
	m	km	m	km	m ²	km ²
1:5 000	50	0.05	5	0.005	400	0.0004
1:10 000	100	0.1	10	0.01	1 600	0.0016
1:20 000	200	0.2	20	0.02	6 400	0.0064
1:25 000	250	0.25	25	0.025	10 000	0.01
1:50 000	500	0.5	50	0.05	40 000	0.04
1:100 000	1000	1	100	0.1	160 000	0.16
1:250 000	2500	2.5	250	0.25	1 000 000	1

Fuente: Priego *et al.*, (2008)

En el presente trabajo se emplea el enfoque topológico, que se basa en la distinción de geocomplejos, de carácter local formados por la interacción de los componentes naturales y la acción humana, que se caracterizan por poseer rasgos particulares y propios (MATEO, 2008).

Este enfoque de distinción de unidades locales permite apreciar cambios en los componentes naturales y antrópicos hasta de decenas o centenas de metros, de forma tal que los rasgos individuales pasan a un segundo plano y se hacen más importantes los topológicos, de ahí que sean estudiados desde el punto de vista de la tipología.

De acuerdo con Mateo (2008), los paisajes del nivel local o topológico son complejos naturales tipológicos que se caracterizan por poseer rasgos comunes de la naturaleza; propios no solo de unidades vecinas, sino también de unidades lejanas. Son repetibles en el espacio y el tiempo. Es decir, ellos se distinguen de acuerdo con los principios de analogía, homogeneidad relativa, repetitividad y existencia de muchos contornos con desunión territorial de los mismos, aunque pertenezcan al mismo tipo.

La diferenciación espacial del mosaico de paisajes, del nivel local, se crea mediante los procesos: de desmembración erosiva del relieve, de penetración de la humedad en las rocas madres, de su lixiviación y disolución y de la actividad vital de las comunidades biológicas. Procesos en los que el relieve desempeña el papel de factor de redistribución de la energía, las sustancias y la humedad; siendo esta una de las principales razones por las que las unidades morfológicas del relieve son la base para el contorno físico de las unidades homogéneas aquí señaladas.

Es debido esencialmente a lo anterior, que la alta variabilidad del espacio geográfico generada por la diferenciación geomorfológica (ROSS, 1995; MARTINELLI e PEDROTTI, 2001)

le confiere al relieve una importante connotación ecológica sobre la superficie terrestre. Esta diferenciación espacial se expresa en la existencia de unidades de distinto rango taxonómico. En este sentido, a nivel local, Mateo (2008) propone distinguir cuatro unidades tipológicas: localidades, comarcas, subcomarcas y facies (esta última considerada como la unidad más simple e indivisible del paisaje o geosistema).

En el presente trabajo abordaremos solamente el análisis de las tres unidades taxonómicas superiores de este enfoque es decir: localidades, comarcas y subcomarcas, que se distinguen por la asociación regular de los componentes naturales, mediante un grupo de índices diagnósticos que pueden ser apreciados en la tabla 2 y que pueden ser definidas según Mateo (2008) como:

Tabla 2. Índices diagnósticos de las unidades locales del paisaje

Nivel del geosistema	Índices diagnósticos
Localidad	Coincide con un determinado complejo de mesoforma del relieve en los límites de una misma región.
Comarca	Coincide frecuentemente con una mesoforma del relieve. Se caracteriza por la asociación de regímenes de humedad, de rocas formadoras de suelos, de suelos, y biocenosis, todos del mismo tipo.
Sub-comarca	Caracterizado por la situación en un elemento de la mesoforma del relieve. Es semejante en cuanto al ingreso de calor y luz solar. Tiene la misma correlación en los depósitos y de la capa de formación de suelos, el mismo tipo de régimen de la humedad del manto y de los suelos. Una similar asociación de variedades de suelos y de biocenosis.

Fuente: Mateo (2008).

Localidad: es el complejo territorial de mayor rango jerárquico al nivel local. Es un complejo natural genéticamente homogéneo, formado por comarcas, subcomarcas y facies, que dan lugar a una asociación espacial característica y que se difunde en un mismo basamento geológico, un determinado complejo de mesoformas del relieve y un mismo tipo de clima.

Debido a que en la localidad predomina la homogeneidad de las condiciones geológico-geomorfológicas y del clima, la distribución de las comunidades vegetales y los suelos, generalmente, se subordina a regularidades similares.

La **localidad** es la unidad superior del nivel local, y por ende, encabezan las leyendas de los mapas a escalas locales y medias (1:10 000 a 1:50 000) y no se representan de manera directa, sino a través de las unidades inferiores.

Ejemplo: VII-Montañas medias (H=1500-2000m) tectónico-denudativas, mediana a fuertemente inclinadas (15-35°), formadas por basaltos y andesitas, con clima fresco y muy húmedo, sobre suelos ferralítico rojo lixiviado y esqueléticos con bosque y matorrales nublados, pinares y herbazales.

Al mismo tiempo, en una misma localidad existen variaciones en la composición litológica, en el carácter de las mesoformas del relieve; en la intensidad de los procesos erosivos, etc. Todo ello da lugar a la formación de complejos naturales de rango inferior, que son las comarcas.

La **comarca**: es la unidad local más importante de todas. Es un geocomplejo que se sitúa en los límites de una localidad dada y está formado por un sistema de facies y subcomarcas que están genética, dinámica y territorialmente interrelacionadas entre sí. La comarca se difunde en una mesoforma completa o parte de una mesoforma del relieve, con el predominio de un tipo de roca madre y de la misma clase de suelos o complejo de suelos.

Ejemplo: 4- Cimas, mediana a fuertemente inclinadas ($>45^\circ$) de basaltos, húmedas a muy húmedas (1500-1900 mm), con suelos ferralítico rojo lixiviado y esqueléticos con bosques y matorrales nublados.

La subcomarca es un geocomplejo compuesto de grupos de facies que están muy relacionadas entre sí, tanto genética como dinámicamente, a causa de una situación común en uno de los elementos de una mesoforma del relieve (la pendiente de una colina, la cima, la superficie plana de un interfluvio, las terrazas del fondo de un valle, entre otras).

Esta interrelación se manifiesta bajo la forma de una asociación o hilera de facies que se relacionan entre sí, por medio del escurrimiento superficial o subsuperficial, lo cual da lugar a la transformación del material mineral y las sustancias orgánicas; a la migración de organismos y sustancias y a la circulación de calor, luz, humedad, etc. En tales condiciones, predomina la asociación de variedades genéticamente relacionadas de suelos y de biocenosis. Frecuentemente, la subcomarca es el escenario en que se llevan a cabo las actividades de conservación y/o manejo en las áreas protegidas, de ahí la enorme importancia de conocer su estructura y composición.

Ejemplo: a) Cimas en forma de picos, fuertemente inclinadas ($>45^\circ$), muy húmedas (1900 mm), con suelos esqueléticos y bosque nublado.

Cartografía de los paisajes

Como parte de la cartografía ambiental la cartografía de los paisajes puede ser concebida como una cartografía de síntesis, ya que las unidades identificadas, se comportan como geosistemas, y están caracterizadas por una estructura, funcionamiento, dinámica y evolución particular y pueden ser espacialmente representadas con una identidad

particular, ya que constituyen agrupamientos de lugares caracterizados por la unión e interrelación de atributos, que la investigación individualizó (OZENDA, 1986; GARCÍA DE CASTRO, 1995; MARTINELLI, 1994).

La Cartografía del Paisajes puede y de hecho participa, en cada una de las fases de las investigaciones geocológicas y ambientales y en cada una de ellas se producen determinados tipos de mapas en función de la amplitud de los temas y del grado de generalización de sus contenidos.

El Mapa de Paisaje conceptualizado como un mapa temático principal en el cual se representan las características fundamentales de los complejos territoriales naturales (SALITCHEV, 1979) se constituye en la base de representación de esta cartografía temática.

La cartografía de los paisajes se realiza tomando en cuenta los presupuestos planteados anteriormente y que son esbozados en el procedimiento metodológico mostrado en la tabla 3, con los pasos necesarios para obtener primeramente un mapa de unidades morfométricas del relieve, paso previo y fundamental para la realización del mapa de paisajes, y a continuación, el procedimiento necesario para obtener un mapa de unidades de paisajes de un territorio (tabla 4), sin pretender agotar las variantes metodológicas y usando como software para el desarrollo del diseño metodológico el ArcGIS 9.3, el cual es un software SIG moderno y eficaz para las tareas de análisis espacial, que cuenta con un módulo de herramientas que permiten adicionarle capacidades para realizar tareas como geoprocésamiento raster, modelamiento y análisis espacial.

El ArcGIS a pesar de ser un software GIS con licencia de tipo comercial, por su amplia difusión en el mundo, gran número de usuarios y las herramientas de procesamiento y análisis espacial ya mencionadas, facilita darle un mayor alcance al resultado final y la generalización de este procedimiento. Sin que eso signifique que es el único o el más adecuado para el desarrollo del presente proceso metodológico.

Tabla 3. Procedimiento metodológico para la obtención de las unidades morfométricas del relieve, con el software SIG ArcGIS Desktop

Paso	Operación	Comando	Observaciones y recomendaciones básicas
1	Generación del modelo digital de elevación (MDE), a partir de las curvas de nivel.	Topo to raster	Definir la resolución del MDE en función de la escala de trabajo.
2	Reclasificación del MDE para obtener los rangos altimétricos del relieve.	Reclassify (3D Analyst)	En el caso del <i>Method</i> , se recomienda seleccionar la opción <i>Standart desviation</i> que brinda la posibilidad de obtener una clasificación del relieve más acorde con la manifestación del mismo en el área de estudio y en función de esta

			definir los rangos altimétricos del relieve.
3	Generalización espacial con filtros de mayoría	Majority Filter (Spatial Analyst Tools)	En el caso del Number of neighbors la opción Eight, por brindar un mejor resultado, en Replacement threshold, los mejores resultados se obtienen con la opción Majority. Este filtro se aplicará tantas veces como sea necesario hasta obtener el resultado que más se adecue a nuestras necesidades de generalización, observando no se pierdan unidades que por sus características puedan ser de interés.
4	Obtención del mapa de la inclinación de la pendiente del relieve, a partir del MDE del paso 1.	Slope (3D Analyst)	En el caso del <i>Output measurement</i> , con la opción <i>Degree</i> , los valores de la inclinación de la pendientes del terreno se expresan en grados, en Z factor, se mantiene el campo en blanco. El calculo de este índice de relieve también se puede obtener en porcentaje.
5	Reclasificación de los valores de la inclinación para obtener el mapa de pendientes.	Reclassify (3D Analyst)	En el caso del Method se recomienda seleccionar Standart desviation, que ofrece óptimos resultados para comprender la manifestación espacial de los intervalos de la pendiente, la reclasificación, se realizará en función de las observaciones de la manifestación del relieve en cuestión, o bien, tomando en consideración criterios de clasificación aprobados por expertos en la materia.
6	Generalización espacial con filtros de mayoría	Majority Filter (Spatial Analyst Tools)	En el caso del Number of neighbors la opción Eight, por brindar un mejor resultado, en Replacement threshold, los mejores resultados se obtienen con la opción Majority. Este filtro se aplicará tantas veces como sea necesario hasta obtener el resultado que más se adecue a nuestras necesidades de generalización, observando no se pierdan unidades que por sus características puedan ser de interés.
7	Transformación de formatos.	Raster to Polygon (Conversion Tools)	Se convierten las capas raster obtenidas en los pasos 3 y 6. Se activa la opción Simplify Polygons, para evitar bordes demasiado angulosos en los polígonos resultantes
8	Calculo de área en km ² de las capas resultantes en ambos casos.	Calculate Geometry	En Property, se elige la opción Area, en Coordinate System, se debe elegir la opción que corresponda a la proyección de la capa y en Units: Square Kilometers
9	Generalización espacial según área mínima cartografiable.	Eliminate (Management)	Identificación e incorporación a entidades de mayor tamaño, de entidades entre 2 y 4 mm ² en el papel, para mejorar la legibilidad del mapa
10	Distinción de los rangos altimétricos.		Montañas medias, colinas, alturas medias, llanuras bajas, etc.
11	Distinción de los rangos de pendientes		Pendiente suavemente inclinada, fuertemente inclinada, abruptas, etc.
12	Superposición del mapa de la inclinación de las pendientes respecto al altimétrico.	Union (Analysis Tools)	Agregar, en la opción <i>Input Features</i> , el mapa altimétrico y el de la inclinación de la pendiente del terreno; y en <i>Join Attributes</i> , el par de atributos que contienen las clases de altimetría y del ángulo de la pendiente.
13	Generalización espacial de acuerdo con los pasos 8 y 9.		

14	Obtención del modelo de sombreado del relieve	3D Analyst/Raster Surface/Hillshade	Se realiza a partir del MDE obtenido en el paso 1.
15	Tabulación de áreas para obtener una tabla cruzada entre la altimetría (Paso 2) y la pendiente (Paso 3) a partir de la superposición del mapa de pendientes con altimetría.	Tabulate Area (Spatial Analyst Tools)	En la opción "Zone field" colocar Value, en Class field, Value, que representan el valor temático en cada imagen raster, con los que se obtendrán todas las combinaciones de los rangos de altimetría-pendiente, con la suma de su superficie ocupada (en m ²). En este paso se obtiene la tabla (en formato dbf), útil para la identificación del comportamiento de los rangos de pendiente del terreno, respecto a los pisos altitudinales.
16	Analizar y agrupar las combinaciones de valores que conformaran las unidades morfológicas del relieve.		Este análisis lleva en sí mismo mucha subjetividad y depende de la experiencia de los investigadores, por lo que es recomendable apoyarse en el modelo de sombreado del relieve obtenido en el paso 14, el cual ofrece una primera aproximación a las formas de la superficie terrestre.
17	Fusión de polígonos		Definidas las unidades morfológicas en la tabla, el siguiente paso es llevar este resultado al mapa. Los polígonos que se seleccionaron para agruparlos en unidades morfométricas y que se van a ir fusionando, se seleccionan con la herramienta Edit Tool. Después de seleccionados los polígonos que conformaran una unidad morfométrica se procede a su fusión con la opción Merge, esto se realiza con la capa editable.
18	Clasificación morfométrica del relieve.		A partir del par de atributos de la altimetría y de la pendiente, se debe generar el correspondiente a las unidades del relieve; por ejemplo: Alturas medias fuertemente inclinadas, llanuras bajas aplanadas, superficies medianamente inclinadas, etc.

Fuente: Elaborado por los autores a partir de Priego *et al.*, (2008), Ramón *et al.*, (2009), Ramón y Salinas (2012).

Con el paso 18 concluye el procedimiento metodológico de la obtención del mapa de unidades del relieve, variable esencial para poder construir el mapa de paisajes, a partir del procedimiento que se explica en la tabla 4.

A continuación se ilustra a partir del mapa de unidades del relieve de los municipios del Bicentenario en el estado de Hidalgo, México el resultado final del procedimiento metodológico para la obtención de las unidades del relieve.

Concluida la obtención del mapa de unidades del relieve, se procede a la obtención del mapa de unidades de paisajes a partir del esquema metodológico sintetizado en la tabla 4.

A continuación se ilustra a partir del mapa de la Cuenca alta del río Cauto, Cuba, figura 2, tomado de Ramón, Salinas y Acevedo (2012) el resultado de la aplicación de la metodología propuesta.

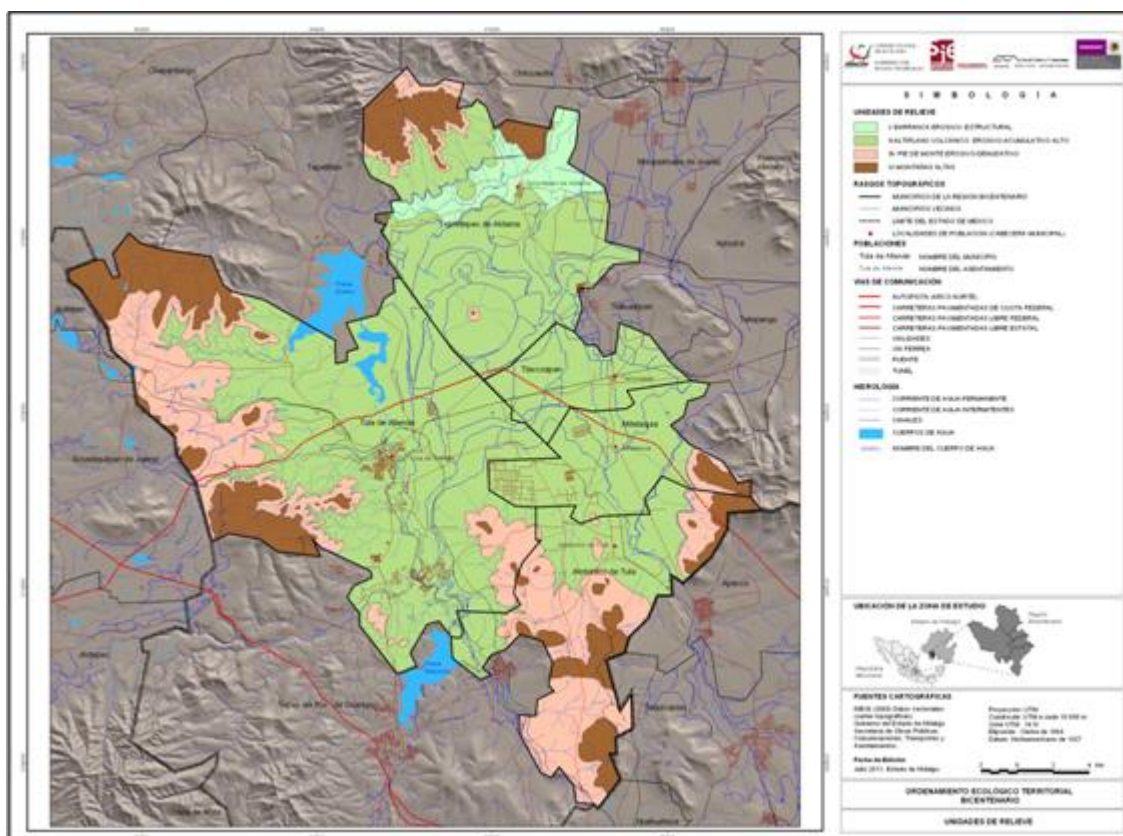


Figura 1: Mapa de unidades del relieve de los municipios del Bicentenario, Hidalgo, México
Fuente: Salinas y otros, 2011.

Tabla 4. Procedimiento metodológico para la obtención de las unidades de paisajes con el software SIG ArcGIS 9.3.

Paso	Operación	Comando	Observaciones y explicaciones básicas
1	Superposición del mapa de las unidades del relieve con el mapa litológico (tipos de rocas)	Union (Analysis Tools)	Se realiza siguiendo el procedimiento explicado en el paso 12 de la tabla 3. En este paso se identifica el material litológico que constituye las diferentes unidades del relieve; por ejemplo, alturas medias fuertemente inclinadas, constituidas por basalto.
2	Generalización espacial por área mínima cartografiable.	Eliminate (Data Management Tools)	Identificación e incorporación a entidades de mayor tamaño, de las entidades entre 2 y 4 mm ² en el papel, para mejorar la legibilidad del mapa, tratando de no modificar sustancialmente los límites de las unidades del relieve.
3	Superposición del mapa del punto 2 con el mapa de climas o climático.	Union (Analysis Tools)	Este paso sigue la secuencia del paso 1 de esta tabla, ahora la idea es adicionar al mapa del punto 2 el atributo de los tipos de climas; ejemplo, alturas medias fuertemente inclinadas, constituidas por basalto en clima fresco con lluvias en verano.
4	Generalización espacial por área mínima cartografiable.	Eliminate (Data Management Tools)	Identificación e incorporación a entidades de mayor tamaño, de las entidades entre 2 y 4 mm ² en el papel, para mejorar la legibilidad del mapa, tratando de no modificar sustancialmente los límites de las unidades del relieve.
5	Superposición del mapa del punto 4 con el mapa de los tipos de suelos (sustrato edáfico)	Union (Analysis Tools)	Ahora el propósito es adicionar, al mapa del punto 4, el atributo de los tipos de suelos; por ejemplo, alturas medias fuertemente inclinadas, constituidas por basalto en clima fresco con lluvias en verano con litosol.

6	Superposición del mapa del punto 5 con el mapa de de la vegetación y los usos del suelo.	Union (Analysis Tools)	Finalmente, al mapa del punto 5 se le adiciona el atributo de los tipos de vegetación y de los usos del suelo; por ejemplo, alturas medias fuertemente inclinadas, constituidas por basalto en clima fresco con lluvias en verano, litosol, con matorral.
---	--	------------------------	---

Fuente: Elaborado por los autores a partir de Priego *et al.*, (2008), Ramón *et al.*, (2009), Ramón y Salinas (2012).

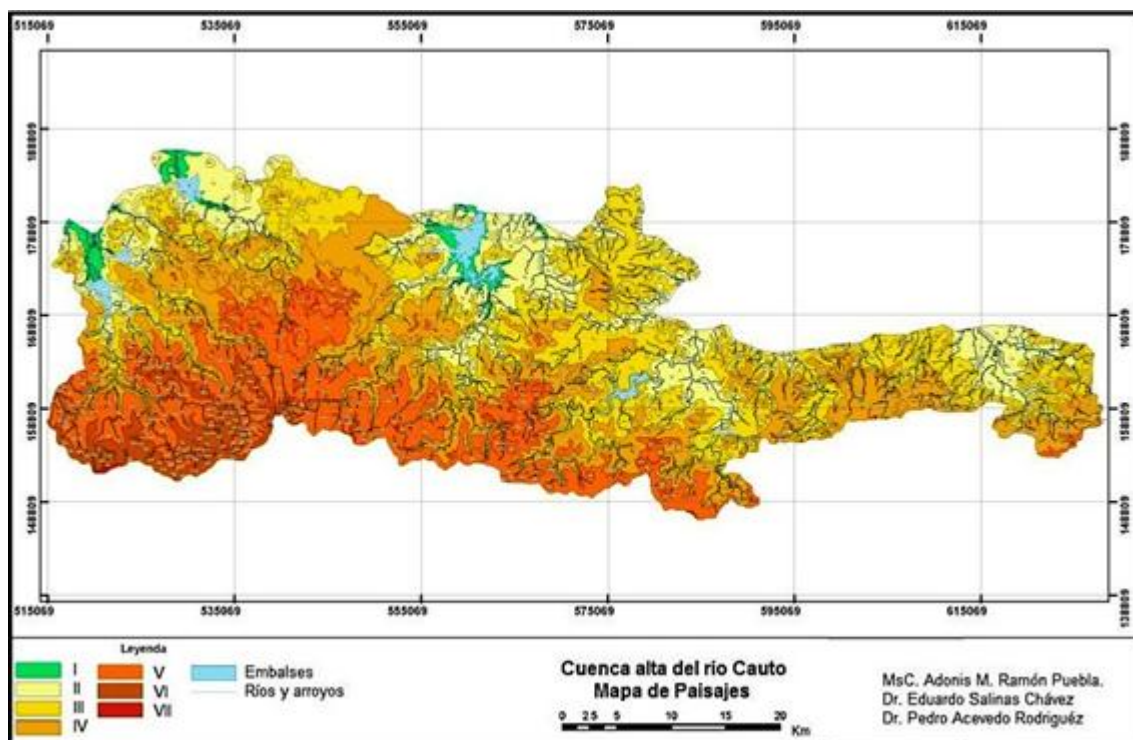


Figura 2 Mapa de paisajes de la Cuenca alta del río Cauto, Cuba
Fuente: Ramón, Salinas e Acevedo, (2012).

Representación cartográfica y elaboración de la leyenda

Según Martinelli y Pedrotti (2001) La leyenda es una construcción obligatoria, vehículo y significado de los signos adoptados en la representación, la cual es indispensable para eliminar las limitaciones de la visualización en el mapa. Ella aparece donde termina la utopía del lenguaje grafico- visual, que sería ilegible sin esta transcripción verbal que se convierte entonces en clave para la lectura y elemento indispensable para el análisis e interpretación del mapa

La leyenda temática de este mapa se comienza a redactar, de abajo hacia arriba y de forma jerarquizada, a partir de las unidades del relieve que se encuentran en los pisos hipsométricos inferiores a las de los pisos superiores, describiendo en primer lugar, el complejo de mesoformas del relieve a que corresponde (llanuras, alturas o montañas) y poniendo entre paréntesis el rango altimétrico del complejo. A continuación se describe el

proceso geólogo-geomorfológico o la combinación de estos (marino, fluvial, fluvio-marino, acumulativo, erosivo, denudativo, erosivo-denudativo, cársico, tectónico, etc.), según corresponda. Seguidamente se describe el grado de inclinación de la pendiente y se pone entre paréntesis, el rango descrito expresado se da en grados o en por ciento. Posteriormente se describe el basamento litológico, el clima, fundamentalmente la temperatura y las precipitaciones (gradientes térmico y de precipitación), colocando entre paréntesis los rangos descritos en cada caso. Después se describen los tipos de suelos, y finalmente el uso actual del suelo, las formaciones vegetales y su condición, según sea vegetación primaria o secundaria predominante.

Las localidades se representan con números romanos y las comarcas dentro de cada localidad se representan en la leyenda con números arábigos consecutivos, diferenciándolas en función de las mesoformas del relieve (cimas, valles, laderas, superficies, terrazas, cauces, etc.) y la asociación de écotopos estrechamente asociados por el mismo subtipo genético de suelos y biocenosis correspondientes (subcomunidades vegetales). Siguiendo siempre el mismo orden en la descripción de las mesoformas en todas las localidades.

Las subcomarcas en cada comarca se representan en la leyenda con letras, desagregándose en función de la situación en un elemento de una mesoforma del relieve con semejanzas en cuanto al ingreso de calor y luz solar, igual espesor de los depósitos en la capa formadora del suelo y la asociación de similares variedades genéticas de suelos y biocenosis (subcomunidades vegetales)

Luego, en el mapa para cada localidad (diferenciadas en general por un color de fondo) las comarcas se señalan con números arábigos, y en el caso de las subcomarcas con letras minúsculas, ambos símbolos dentro del polígono correspondiente. Este es el tipo de representación cartográfica más usado y más efectivo en los mapas generales de paisaje, donde es característico el empleo de formas ampliamente descriptivas para designar a los geosistemas y es por tanto el propuesto en esta metodología.

A continuación se muestra a modo de ejemplo un fragmento de la leyenda del mapa de paisajes mostrado en la figura 2.

I- Depresiones intramontañosas (80-120m), acumulativas y erosivo-denudativas, planas a fuertemente inclinadas ($0 > 35^\circ$), sobre depósitos cuaternarios y rocas de la cobertura neoplatafórmica, moderadamente húmedas (800-1000 mm) con suelos aluvial y pardo con

carbonatos con cultivos, pastos, matorral secundario, café y restos de bosques semideciduo degradado.

1. Cauces en forma de U con escurrimiento superficial permanente y planos de inundación del fondo de los valles.

a) Sobre depósitos aluviales de composición y granulometría heterogénea con suelo aluvial, con pastos, cultivos y matorral secundario.

b) Sobre calizas órgano-detríticas, alternancia de margas, areniscas y esquistos arcillosos con suelo pardo con carbonatos con pastos, cultivos, caña de azúcar y restos de bosques semideciduo degradado.

2. Cauces en forma de U con escurrimiento superficial estacional y planos de inundación del fondo de los valles.

a) Sobre depósitos aluviales de composición y granulometría heterogénea con suelo aluvial, con pastos y cultivos.

b) Sobre calizas órgano-detríticas, alternancia de margas, areniscas y esquistos arcillosos con suelos aluviales con cultivos.

c) Sobre calizas órgano-detríticas, alternancia de margas, areniscas y esquistos arcillosos con suelos pardos con carbonatos con pastos y caña de azúcar.

3. Llanuras de las depresiones acumulativas y erosivo-denudativas de planas a ligeramente inclinadas (0-50°).

a) Sobre depósitos aluviales de composición y granulometría heterogénea con suelos aluviales, con pastos, cultivos, restos de bosque semideciduo degradado y matorral secundario.

b) Sobre calizas órgano-detríticas, alternancia de margas, areniscas y esquistos arcillosos con suelos pardos con carbonatos con pastos, caña de azúcar y cultivos.

4. Pendientes erosivo-denudativas de ligera a fuertemente inclinadas (5 a >35°) sobre calizas órgano-detríticas, alternancia de margas, areniscas y esquistos arcillosos con suelo pardo con carbonatos con pastos, restos de bosque semideciduo degradado, cultivos y matorral secundario.

CONCLUSIONES

Según diversos autores, lo cual compartimos, existe una necesidad creciente e impostergable de encontrar una cartografía integradora y de síntesis que permita abordar los complejos procesos y fenómenos ambientales y sociales de nuestros días, combinando adecuadamente la solución analítica exhaustiva de los problemas y fenómenos estudiados así como su adecuada comprensión por los usuarios, superando así la cartografía tradicional y sus métodos de representación que al superponer y mezclar atributos y variables realizan mapas que no consiguen transmitir una visión de conjunto. Es necesario destacar también que los SIG deben ser considerados como herramientas que favorecen el manejo y análisis de grandes volúmenes de información en diferentes formatos y por diferentes medios, pero que no pueden diferenciar estructuras funcionales, dinámicas, etc. de los paisajes, por lo que debemos señalar que la delimitación y clasificación de los paisajes no es un problema cartográfico y que los métodos informáticos se deben adaptar a las exigencias de su estudio y no a la inversa.

Por lo cual lo que aquí presentamos son solamente unos procedimientos que permitirán acercar las nuevas tecnologías informáticas al proceso de confección del mapa de paisajes con vistas a su análisis y evaluación como parte de los trabajos relacionados con el Ordenamiento, la Planificación y la Gestión de los territorios a diferentes niveles y escalas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTRAND, C., BERTRAND, G. **Geografía del Medio Ambiente. El Sistema GTP: Geosistema, Territorio y Paisaje**. Universidad de Granada, 2006. 403p.

BOCCO, G. *et al.* **La Cartografía de los sistemas naturales como base geográfica para la planeación territorial**. SEMARNAT, México, 2009. 72 p.

BRUM, A. *et al.* Metodologías de análise e de classificação das paisagen. O exemplo do projecto Estrela, **Finisterra XXXVI**, n. 72, p. 157-178, 2001.

CERVANTES-BORJA, J.; ALFARO-SÁNCHEZ, G. La Ecología del Paisaje en el contexto del Desarrollo Sustentable. In: Salinas Chávez, Eduardo; Middleton, John (Orgs.) **La Ecología del**

Paisaje como base para el desarrollo sustentable en América Latina, 1998. Disponível em: <http://www.brocku.ca/epi/lebk.html>. Acesso em: 02/02/2012.

ETTER, A. *et al.* Hacia una planificación Transactiva del Uso del Paisaje: Integración de la Producción y la Conservación para la Recuperación del Paisaje en la cuenca del río Chicamocaha (Boyacá, Colombia) 1990-1996. In: Salinas Chávez, Eduardo; Middleton, John. (Orgs.) La ecología del paisaje como base para el desarrollo sustentable em América Latina, 1998. Disponível em: <http://www.brocku.ca/epi/lebk/lebk.html>. Acesso em: 02/02/2012.

GARCÍA DE CASTRO, M. Facts About Landscape Cartography in Cuba, en Domon, G. and J. Falardeau (Ed) Landscape Ecology in land use planning, methods and practice-Polycience, Publ. Inc, Morin Heights, Canada, p. 135-141, 1995

KLIJN, F. **Ecosystem classification for environmental management**, Kluwer Academic Publ., The Netherlands, 1994. 293 p.

MARTINELLI, M. Cartografia ambiental: uma cartografia diferente? **Revista do Departamento de Geografia** n. 7, São Paulo: DG-USP, p. 61-80, 1994

MARTINELLI, M.; PEDROTTI, F. A cartografia das unidades de paisagem: questões metodológicas. **Revista do Departamento de Geografia** n.14, São Paulo: DG-USP, p. 39-46, 2001

MATEO, J. **Geografía de los Paisajes, Primera Parte. Paisajes naturales, Editorial Universitaria**, La Habana, 2008, 190 p.

MAZUR, E. **Landscape Classification**, Inst. of Geography Slovak Academy of Science, Bratislava, 1989, 127 p.

NATIONAL CENTER FOR GEOGRAPHIC INFORMATION AND ANALYSIS. Fundamental Research in Geographic Information and Analysis. **NCGIA Technical Reports** n. 988, University of California, Santa Barbara. 1997. 1 CD-ROM

OZENDA, P. **La cartographie écologique et sus applications**. Paris, Masson, 1986. 160 p.

PACHECO, R *et al.* Delimitação de unidades de paisagem: conceito e método aplicados ao município de Paranaguá, Brasil, **Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, Septiembre de 2005 – USP, pp. 3429-3438, 2005.

PEREIRA, G.; SALINAS, E.; SIQUEIRA, M. E. O estudo das unidades de paisagem do bioma Pantanal, **Revista Ambiente e Agua**, v. 6 n. 3, p. 32-44, 2011.

PRIEGO-SANTANDER, A.; BOCCO, G.; MENDOZA, M.; GARRIDO, A. **Propuesta para la generación semi automatizada de unidades de paisajes, Fundamentos y métodos**. México: Instituto Nacional de Ecología, 2008, 98 p.

QUINTELA, J.; SECO, R.; SALINAS, E. Geomorphological and Landscape Mapping of the Cuyutlan Lagoon; Mexico. **GIS for Natural Environment Mapping**, GIM International July 2001, v. 15, n. 7, p.44-47, 2001.

RAMÓN, A.; SALINAS, E. **Guía para la elaboración de mapas de paisajes con el uso del ArcGIS. Metodología para la determinación de unidades de paisajes del nivel local con ArcGIS Desktop**, España: Editorial Académica Española, 2012. 70 p.

RAMÓN, A.; SALINAS, E.; ACEVEDO, P. **Modelo de ordenamiento ambiental desde la perspectiva del paisaje. Una propuesta para la cuenca alta del río Cauto, Cuba**. España: Editorial Académica Española, 2012. 104 p.

RAMÓN, A.; SALINAS, E.; REMOND, R. 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)**, v. 1, n.1, p. 95-108, 2009.

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**, 2005. 55 p. Tesis (Licenciatura e Geografía) - Facultad de Geografía, Universidad de la Habana, Cuba.

ROSS, J.L.S. Análises e sínteses na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, FFLCH/USP, n.9, p.65-75, 1995.

SALICHTCHEV, K.A. 1979 **Cartografía**, Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 1979. 182 p.

SALINAS, E. **Análisis y evaluación de los paisajes en la planificación regional de Cuba**, 1991. 113 p. Tesis (Doctorado en Ciencias Geográficas) - Facultad de Geografía, Universidad de la Habana, Cuba.

SALINAS, E. Landscape Ecology as a Basis for Regional Planning in Cuba, in D. Van der Zee and I. S. Zonneveld (Eds) Landscape Ecology applied in land evaluation development and conservation. Some worldwide selected examples, **ITC publication**, n. 81, Enschede p.181-194. 2001.

SALINAS, E.; QUÍNTELA, J. Paisajes y ordenamiento territorial: obtención del mapa de paisajes del estado de Hidalgo en México a escala media con el apoyo de los SIG. **Alquiba, Revista de Investigación del Bajo Segura**, n. 7, p. 517-527, 2001.

SALINAS, E. *et al.* Ordenamiento Ecológico Territorial Municipios del Bicentenario, Estado de Hidalgo, México, 2011, (inédito).

SCHULTE, W.*et al.* Zusammenarbeit mit Brasilien in der Biotopkartierung, **Natur und Landschaft**, v.12, n. 69, p. 554-559, 1994.

Artigo recebido em 06/03/2013.

Artigo aceito em 21/04/2013.