

Clasificación sistemática de paisajes. Propuesta de un marco conceptual ^a

Systematic classification of landscapes. A proposed framework

Graciano Elizalde

Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela.
elizaldeg@agr.ucv.ve y gracianoelizalde@yahoo.com

RESUMEN

En 1983 el autor propuso la primera aproximación de un ensayo de clasificación de paisajes en 8 categorías, acompañado por varios ejemplos en diversos sectores de Venezuela. Esta segunda aproximación, reúne la experiencia derivada de la aplicación de la clasificación en diversas regiones del país durante casi treinta años. Se propone una definición del término paisaje vinculado con los conceptos de ecosistema y sistema pedogeomorfológico. La propuesta divide el universo de paisajes en 8 categorías, cada una de las cuales corresponde a ciertos rangos de complejidad y de escala de representación cartográfica. Se desarrolla una serie de ecuaciones que demuestran que el sistema pedogeomorfológico estará en continuo y constante cambio y solo alcanzará el estado de equilibrio cuando se agoten sus fuentes de energía y materiales. Se concluye que los mapas obtenidos a partir de este sistema de clasificación tienen muchos campos de aplicación como:

- Marco para nuevos mapas geomorfológicos más detallados
- Marco de referencia para la correlación regional o internacional de paisajes
- Marco para la elaboración de mapas de unidades ecológicas, de suelos, de vegetación, de unidades agroecológicas o similares
- Permiten identificar y conocer la distribución espacial de los indicadores de riesgo ambiental de diferentes tipos de usos de la tierra
- Son adecuados para la identificación, integración y desglose de las presiones ejercidas sobre la biodiversidad que sufren los ecosistemas
- Para la selección de áreas de referencia de paisajes adecuados para identificar y medir los indicadores orientados a políticas agroambientales.

Palabras clave: clasificación de paisajes; sistema pedogeomorfológico; paisaje individual; escalas

ABSTRACT

In 1983 the author proposed the first approach of a landscape classification essay in 8 categories, accompanied by several examples in various areas of Venezuela. This second approach brings together experience from the use of the classification in various regions of the country for almost thirty years. Proposes a definition of landscape connected to the concepts of ecosystem and pedogeomorphologic system. The proposal divides the universe of landscapes in 8 categories, each of which corresponds to certain ranges of complexity and scale of cartographic representation. It develops a series of equations that demonstrate that pedogeomorphologic systems will be in continuous and constantly change and only will reach the steady-state when their sources of energy and materials get exhausted. It concludes that maps obtained from this classification system have many fields of application such as:

- A framework for new more detailed geomorphologic mapping
- A framework for regional or international correlation of landscapes
- A framework for mapping ecological units, soil, vegetation, or similar agro-ecological units
- A means to identify and understand the spatial distribution of environmental risk indicators of different types of land uses
- They are suitable for the identification of the pressures on the ecosystem biodiversity
- For the selection of reference areas to identify and measure indicators for agricultural and environmental policies.

Key words: landscape classification; pedogeomorphologic system; individual landscape; scales

^a Recibido: 18-01-11; Aceptado: 14-02-12

INTRODUCCIÓN

Durante el último tercio del siglo XX, la labor efectuada en Venezuela en relación al levantamiento de suelos, ha permitido desarrollar y experimentar largamente una clasificación sistemática de diferentes categorías de paisajes, que se ha revelado como muy adecuada para los estudios edafológicos en las extensas áreas aluviales del país (Zinck, 1970; COPLANARH, 1974a, 1974b y 1975; Zinck, 1981). Se ha instrumentado de ese modo una metodología para producir la información geomorfológica cartografiable necesaria en los levantamientos agrológicos y que ha sido tomada en cuenta para la formulación de las normas establecidas para estos estudios (M.A.R.N.R. 1989).

Al incrementarse los trabajos agrológicos en las zonas dominadas por procesos de erosión (zonas montañosas y peniplanicies), se realizaron varios intentos para aplicar las mismas pautas de las propuestas de Zinck (1970 y 1981) para el levantamiento geomorfológico de esas áreas, pero los resultados no han sido suficientemente satisfactorios y los diversos grupos regionales se han visto en la obligación de desarrollar sus propios sistemas. En muchos casos, mediante aproximaciones sucesivas, se han logrado metodologías de buen éxito a nivel regional (Steegmayer y Bustos, 1980), pero en general, se han desarrollado diversos sistemas que se consideraron más adecuados para cada situación particular.

A causa de la diversidad de las áreas consideradas y de la diversidad de propuestas para la organización de la información geomorfológica, las clasificaciones de paisajes elaboradas resultan difíciles de extrapolar a otras zonas, a pesar de los esfuerzos específicos realizados en ese sentido. Por otro lado, la correlación de las unidades geomorfológicas utilizadas en cada una de las regiones, no puede hacerse de manera inmediata, debido a la diversidad de criterios manejados para su definición y a la falta de unificación de los términos.

Las características principales de algunas de esas metodologías, han sido resumidas por Steegmayer y Bustos (1980); en el presente trabajo se complementa dicha revisión con referencias de algunas clasificaciones desarrolladas en distintos sectores del planeta (Venezuela, Estados Unidos de Norte América, Canadá, Australia, Europa).

A pesar de las limitaciones mencionadas, un elemento común que se deduce de la mayoría de las propuestas, es que los estudios geomorfológicos requieren la participación de equipos multidisciplinarios, en los cuales resulta muy importante la tarea que puedan efectuar geólogos y geomorfólogos, integrados a biólogos, edafólogos, sociólogos, hidrólogos,...

El principal problema que se presenta para la aplicación generalizada de las metodologías existentes tanto a nivel nacional como internacional, radica en la insuficiente definición de los criterios utilizados para la separación de las categorías en que se subdivide, maneja y elabora la información geomorfológica en la mayoría de ellas. Ello acarrea dificultades para establecer cuántos y cuáles son los niveles o etapas en que se utilizará la información existente o que se produzca durante la marcha de los trabajos. Además, otra consecuencia es que parte de la información se desaprovecha porque no se establece con claridad cómo se integrará, o los especialistas que participan en los equipos tienen dificultades para comprender qué clase de información se está esperando de ellos.

Con el propósito de contribuir a la solución del problema anteriormente expuesto, Elizalde (1983) presentó, en una primera aproximación a este tema, un ensayo de clasificación con el fin de establecer el marco conceptual de varias categorías de paisajes, comenzando desde los niveles de abstracción más generalizados, hasta los más específicos. Muchos de los aspectos allí considerados, ya habían sido analizados previamente por otros autores, inclusive en Venezuela, pero en el trabajo mencionado se propone una forma de integrarlos. Desde entonces esa clasificación se ha empleado para numerosos estudios realizados con diversos propósitos en distintos sectores del país durante casi 30 años. Una lista abreviada de ellos comprende más de 16 trabajos de grado de licenciatura y maestría y tesis de doctorado, numerosas ponencias en congresos nacionales e internacionales, publicaciones en revistas científicas especializadas y libros (Abreu, y Elizalde, 2000; Elizalde, y Daza, 2000; Vilorio *et al*, 2001; Jácome *et al*, 2001; Fernández y Elizalde, 2001; Elizalde *et al*, 2007), informes de proyectos y trabajos de ascenso y más de 25 asesoramientos profesionales realizados por el autor entre 1990 y 2011, donde este sistema de clasificación se aplicó en levantamientos geomorfológicos y de suelos relacionados con estudios para cuestionarios ambientales, planes de ordenamiento ambiental, de impacto y sensibilidad ambiental, línea base, trazado de rutas de gasoductos y oleoductos y emplazamiento de infraestructuras de la industria petrolera, evaluación de la erosión potencial, geomorfología costera, estudios de cuencas hidrográficas y planificación del uso de la tierra, en sitios muy diversos de la geografía venezolana. Ello permitió comprobar su eficiencia e incorporar algunas mejoras, entre las que se encuentra el desarrollo paulatino de la plataforma conceptual que se expone en este trabajo.

DESARROLLO DEL MARCO CONCEPTUAL

Existe una amplia diversidad de definiciones y conceptos relacionados con el término "PAISAJE", por ello se iniciará este capítulo con una breve discusión al respecto. Etimológicamente esta palabra deriva del latín "pagus" (pueblo, lar, lugar de residencia, lugar de origen) y es la extensión de terreno que puede ser dominada por la vista de un observador desde su sitio de residencia. Se presenta como una individualidad que se distingue globalmente como un todo, es decir que el término se refiere a un espacio geográfico delimitado.

A partir de esa definición se presentan diversas acepciones, según se haga énfasis en los contenidos, usos, procesos o dimensiones u otros aspectos de interés del área considerada.

Respecto a las dimensiones, es evidente que el concepto ha evolucionado en la medida que ha cambiado la capacidad del hombre para ampliar su visión del mundo circundante, desde su observación directa hasta las imágenes satelitales. De la misma manera que el término puede incorporar o no los objetos derivados de las actividades humanas.

Ello ha determinado una multiplicidad de definiciones, lo que puede ser ejemplificado por las citas que Higuera Arnal (1999) toma de Hartshorne (1939), y que son reproducidas, comentadas e interpretadas a continuación (los párrafos en letra cursiva son transcripciones textuales de Higuera Arnal):

- "*«El paisaje lo forman todos aquellos objetos y fenómenos que ocupan un cierto espacio, objetos que son observables con los órganos sensibles».* Paulowski, S. [cf. Hartshorne, 1939, pp.152]."

Debe tomarse en cuenta que la palabra "fenómenos" en esta frase es equivalente a "procesos"¹, es decir un conjunto de eventos que suceden ya sea simultáneamente o secuencialmente de manera organizada y que producen un efecto determinado de inmediato o luego de cierto tiempo. Por otra parte, al indicar que son observables, se establece que los objetos que constituyen al paisaje deben estar a nuestro alcance (en la superficie terrestre o en sus adyacencias).

- "*«El paisaje es la sección de la superficie terrestre y del cielo que se unen en nuestro campo de visión, como vistos en perspectiva desde un particular punto de vista».* Waibel, L. [cf. Ibidem]."
- "*«El paisaje está formado por la total impresión que nos produce una porción de la superficie terrestre y la correspondiente sección del cielo».* Grano, J. [cf. Ibidem]."

En ambos casos, el término "cielo" tiene el significado de "atmósfera".

- "*«El concepto de paisaje excluye todo lo que se percibe en la proximidad inmediata, así como al hombre y la vida animal y vegetal de corta duración».* Pasarge, S. [cf. Ibidem]."

En este caso, la definición introduce las nociones de extensión y tiempo: el paisaje no se refiere a un objeto pequeño que nos rodea de manera cercana, sino que debe ser extenso y perdurable (según la escala humana). De allí que excluya los seres vivos, que son perecederos.

- "*«El paisaje consiste en hechos observables (...) más todos los hechos significativos no observables».* Lautensach, H. [cf. Ibidem]."

Esta definición permite deducir que los "hechos" (resultados o efectos de los procesos) tienen efectos más o menos inmediatos ("observables") o que se manifiestan luego de un lapso humanamente largo ("no observables").

- "*«El paisaje incluye todos los elementos animados e inanimados, incluida la población, el hombre es uno de sus elementos fundamentales».* Schiuter, O. [cf. Ibidem]."

Para este autor, el paisaje está constituido por los objetos vivos o no vivos e incluye al ser humano y a los objetos resultantes de los procesos ejecutados por éste.

- "*«El área geográfica considerada como paisaje es una cosa corpórea a cuyo conocimiento se llega por la caracterización de sus formas, se reconoce por su estructura y se comprende por su origen, desarrollo y funciones».* Sauer, C. [cf. Ibidem]."

La definición de Sauer (1925), considera al paisaje como un objeto material ("cosa corpórea"), y está redactada de tal forma que hoy día puede ser perfectamente interpretada como la definición de un sistema objeto.

¹ Rondón y Elizalde (1994) definen proceso pedogenético como toda acción que se produce en el cuerpo natural suelo como un todo, o en alguno de sus componentes, por intercambios de materia y energía entre sus propios componentes y con su medio ambiente (determinado por sus límites) y que, con el tiempo, provoca cambios en la composición, en las propiedades físicas, químicas, biológicas, mineralógicas y/o estructurales, que pueden ser observados y/o medidos in situ o en muestras aisladas. (Venesuelos 2(1):32-36)

Aparte de la evidente contradicción entre las definiciones de Pasarge y Schiuter, es posible extraer de todas ellas elementos para organizar la siguiente definición integradora:

Paisaje es el conjunto global de elementos animados e inanimados ubicados en la superficie terrestre, incluyendo la atmósfera y los sucesos extensos y perdurables que los relacionan, observables con los sentidos o no observables pero significativos, ya sea que se manifiesten instantáneamente o en un lapso humanamente extenso; que mantiene su identidad aunque sea considerado desde diversos puntos de vista (estético, climático, topográfico, geográfico, social, político, administrativo, etc.). Constituye un sistema que se caracteriza por su forma, estructura, origen, desarrollo y funciones o procesos.

Esa definición hace mención de sus Componentes Materiales, de su Extensión y Ubicación, de los Procesos y Sucesos que en él se desarrollan y su Duración. Ella engloba la afirmación de Higuera Arnal (1999): "Los paisajes naturales son porciones de la superficie terrestre, delimitadas por criterios exclusivamente físicos, que se perciben como un todo y constituyen un sistema desde el punto de vista ecológico", pero es más amplia porque no se circunscribe a los componentes "naturales", es decir incluye al ser humano y sus acciones y construcciones.

Asociado con la definición anterior está el concepto de Paisaje de Suelo. En efecto, la superficie terrestre es el teatro de interacción entre la atmósfera, la hidrósfera, la biósfera, la pedósfera y la litósfera. Como resultado de esa interacción resultan tanto el modelado de la superficie del planeta, como la formación del cuerpo superficial llamado "suelo". En este caso, los agentes que actúan en esa interacción, aportando materia o energía, o ambas, se conocen como sus "Factores de Formación" o "Factores de Estado" (Jenny, 1994). Si bien esta expresión se usa extensamente al discutir la génesis y propiedades de los suelos, también tiene validez en cuanto a la génesis y propiedades de cualquiera de los componentes líquidos y sólidos que componen la hidrósfera, la biósfera y las capas más externas de la litósfera, a la vez que interactúan con la atmósfera. (Elizalde, 2009). Este autor propone un modelo de las relaciones entre los componentes de la Tierra mencionados y los procesos resultantes de esos intercambios. En ese modelo se identifican un conjunto de secuencias y ciclos que, reunidos, constituyen la fase superficial del ciclo geológico, las que, según ese autor, se desarrollan a expensas de los aportes de materia y de energía determinados por un conjunto de factores complejos, comunes a todos ellos. Esos factores se relacionan con los materiales de origen o parentales de cada uno de los componentes abióticos incluyendo al agua, las condiciones del clima, las condiciones del relieve, las características de la biota, las actividades humanas y el tiempo de evolución. Se deriva entonces que los atributos y el estado (como condición química, física y fisicoquímica) de los materiales de la fase superficial del ciclo geológico son una función que puede ser expresada por la ecuación (1), donde $mslfscg$ significa materiales sólidos y líquidos de la fase superficial del ciclo geológico, cuyas características son función de la interacción de: mo = material de origen; cl = condiciones del clima; r = condiciones del relieve; b = características de la biota; h = actividades humanas; t = tiempo de evolución e interacción de los otros factores.

$$mslfscg = f(mo, cl, r, b, h, t) \quad (1)$$

La selección de los componentes del segundo miembro de la ecuación (1) se basa en la argumentación expuesta por Jenny (1994), para seleccionar los "factores de estado" del sistema suelo que lo "definen" o "describen", pero Elizalde (2009), generaliza esos factores para todos los componentes sólidos y líquidos que reconoce en la fase superficial del ciclo geológico.

Para Huggett (1995), los elementos de la biota interactúan constantemente entre sí y con los suelos, la atmósfera, la hidrósfera, la topósfera y la litósfera, constituyendo sistemas de paisajes o geoecosistemas. Supone que las entidades que los constituyen se organizan en forma espacial jerárquicamente, mientras las condiciones tanto internas como externas de los geoecosistemas cambian continuamente. Estos cambios en las condiciones y estructuras, pueden ser analizados mediante las ecuaciones "brash"² que este autor propone, según las cuales la tasa de cambio de cada una de las geoesferas, que incluyen la biota, relieve, aire, suelos y agua, vistas individualmente, depende del estado de todas las otras y de los factores de fuerza externos a la geoesfera, que identifica como "z". Este enfoque conduce a considerar que los paisajes "evolucionan" de acuerdo a cierta tasa de cambio, como lo expresa el autor en el conjunto de ecuaciones derivadas siguiente:

² "brash": b = biota, r = relieve, a = aire, s = suelo y h = agua (componente de la hidrósfera)

$$db/dt = f(b,r,a,s, h) + z$$

$$dr/dt = f(b,r,a,s, h) + z$$

$$da/dt = f(b,r,a,s, h) + z$$

$$ds/dt = f(b,r,a,s, h) + z$$

$$dh/dt = f(b,r,a,s, h) + z$$

Ese conjunto de ecuaciones constituye el modelo dinámico del geosistema propuesto por el citado autor. Considerando la propuesta de Huggett (1995), pero poniendo el énfasis en los factores de estado³ en lugar de las geoesferas, los cambios en el tiempo de las propiedades (composición, estructura, origen, cantidad, etc.) de los materiales sólidos y líquidos de la fase superficial del ciclo geológico (es decir del ecosistema), pueden ser expresados por la ecuación derivada siguiente:

$$d(\text{mslfscg})/dt = f(\text{mo,cl,r,b, h}) \quad (2)$$

Según la cual la intensidad de los cambios (o sea, la derivada en el tiempo de los cambios) de los materiales sólidos y líquidos de la fase superficial del ciclo geológico, son función (o están definidos) de la interacción de los factores mo, cl, r, b y h.

En la literatura científica hay abundantes evidencias de que la naturaleza y propiedades de los materiales de origen (mo) de los "mslfscg" dependen en cierta medida de las condiciones del clima, del relieve, de la biota y de las actividades humanas predominantes en los sitios donde ellos se encuentran o se han formado. De igual manera, se ha demostrado ampliamente la interdependencia entre el relieve y condiciones del clima y de la biota, así como de ésta respecto al clima y el relieve. Hoy día también es indiscutible la incidencia de las actividades humanas sobre la biota, el clima y el relieve. Es decir que los factores que forman el segundo miembro de las ecuaciones (1) y (2) son interdependientes.

Por analogía con la ecuación (2), al considerar que los factores formadores son interdependientes, y que los cambios en unos determinan cambios en los otros, se define el conjunto de las ecuaciones derivadas parciales siguientes:

$$d(\text{mo})/dt = f(\text{cl,r,b, h}) \quad (3)$$

$$d(\text{cl})/dt = f(\text{mo,r,b,h}) \quad (4)$$

$$d(\text{r})/dt = f(\text{mo,cl,b,h}) \quad (5)$$

$$d(\text{b})/dt = f(\text{mo,cl,r,h}) \quad (6)$$

$$d(\text{h})/dt = f(\text{mo,cl,r,b}) \quad (7)$$

Cada uno de los factores tiene un estado inicial (fi) y un estado final (ff), donde f puede ser mo, cl, r, b, o h. A su vez, ff representa las propiedades y estado final del factor considerado, luego de la acción de los otros factores de estado, según lo que expresan las ecuaciones (3) hasta (7). De esa manera, los cambios de los factores de estado se formulan por las expresiones siguientes:

$$d(\text{mo}) = \text{mo}_f - \text{mo}_i$$

$$d(\text{cl}) = \text{cl}_f - \text{cl}_i$$

$$d(\text{r}) = \text{r}_f - \text{r}_i$$

$$d(\text{b}) = \text{b}_f - \text{b}_i$$

$$d(\text{h}) = \text{h}_f - \text{h}_i$$

De allí se deduce que las ecuaciones 3 hasta 7 pueden ser sustituidas por las ecuaciones 8 hasta 12:

$$\text{mof} = (f(\text{cl,r,b, h}) \cdot dt) + \text{moi} \quad (8)$$

$$\text{clf} = (f(\text{mo,r,b,h}) \cdot dt) + \text{cli} \quad (9)$$

$$\text{rf} = (f(\text{mo,cl,b,h}) \cdot dt) + \text{ri} \quad (10)$$

$$\text{bf} = (f(\text{mo,cl,r,h}) \cdot dt) + \text{bi} \quad (11)$$

$$\text{hf} = (f(\text{mo,cl,r,b}) \cdot dt) + \text{hi} \quad (12)$$

³ Rondón y Elizalde (1994) definen como factor de formación o de estado de suelo a todo agente que proporciona o modifica la cantidad de materia y/o energía necesaria para que ocurran los procesos pedogenéticos en el sistema suelo. Esta definición puede generalizarse para los factores de estado de los "mslfscg".

Estas ecuaciones pueden verse como banales, pero encierran varios significados que conviene destacar. El primero de ellos, como ya se expresó, es que las ecuaciones (8) hasta la (12) tienen sentido cuando se asume que los factores formadores al interactuar, no solo determinan los cambios de los atributos y las condiciones de los materiales sólidos y líquidos de la fase superficial del ciclo geológico, sino que concomitantemente, modifican el estado de ellos mismos como factores formadores.

La ecuación (8), establece que los numerosos procesos producidos por la acción conjunta e integrada de factores climáticos, de relieve, bióticos y de las actividades desarrolladas por el hombre, así como el estado inicial de los materiales de origen de los componentes de la fase superficial del ciclo geológico (rocas ígneas plutónicas, metamórficas, sedimentarias, regolitos, sedimentos, materiales sueltos in situ, rocas ígneas volcánicas, material piroclástico, suelos, biomasa, hielo y las soluciones que con ellos interactúan), determinan el estado final en el ecosistema de dichos materiales.

La ecuación (9), asume la influencia de la interacción del relieve, la biota y las actividades humanas sobre los cambios del clima y ello es ampliamente aceptado. Sin embargo, puede no resultar evidente a primera vista, la influencia de los materiales sobre el clima, aunque lo inverso se ha demostrado extensamente. Para comprender ese aspecto, no debe olvidarse que el clima se caracteriza por los parámetros de la atmósfera, la cual posee una cantidad de propiedades (composición, temperatura, humedad, presión, vientos, precipitaciones, etc.), cuyas variaciones son expresadas por la ecuación (9). Hay numerosos estudios que demuestran y cuantifican la incidencia sobre la dirección y amplitud de los cambios del clima, del albedo terrestre, el cual es afectado a su vez por la acción del relieve (pendiente, orientación de la superficie del terreno), la biota (tipo y densidad de cobertura vegetal) y las actividades humanas (construcciones, deforestación, etc.). Para ser más claros, esa ecuación establece que los cambios climáticos inducidos por determinadas actividades humanas y de las condiciones de la biota y del relieve, no serán iguales entre áreas donde estén expuestas diferentes tipos de rocas, de suelos y de cobertura vegetal, o distintas extensiones de nieve y hielo o de cuerpos de agua, que determinan, entre otras propiedades, el albedo del área. A su vez, dichos cambios estarán influidos por las condiciones iniciales del clima.

De acuerdo a la ecuación (10), las propiedades del relieve están determinadas por la naturaleza y propiedades de los materiales de origen (ello incluye los suelos, sedimentos, regolitos, el tipo de rocas, su estructura y tectónica, etc.), de factores climáticos, de las propiedades de la biota y de las acciones humanas, actuando de manera integrada sobre un relieve inicial, durante ciertos intervalos de tiempo.

En la ecuación (11), se establece que las propiedades de la biota están determinadas o son función de la naturaleza de los materiales de origen de los componentes del ecosistema (ello incluye, entre otras, las propiedades geoquímicas, estructurales e hidráulicas de rocas, suelos, regolitos y sedimentos), de factores climáticos, de las propiedades del relieve y de las acciones humanas, actuando de manera integrada. La naturaleza y amplitud de esos cambios dependerán también del estado inicial de la biota.

En la ecuación (12) queda implícito que las características de las actividades humanas (y de sus impactos) en el tiempo y en el espacio, no están determinadas de forma fortuita o al azar, sino que son función de la naturaleza de los materiales sobre los que se ejercen esas actividades (ello incluye las propiedades geoquímicas de los suelos, rocas, regolitos y sedimentos, su estructura y propiedades mecánicas, hidráulicas, etc.), de factores climáticos (régimen de humedad, régimen de temperatura), de las propiedades de la relieve (pendiente, altura sobre el nivel del mar, riesgo de inundaciones u otros riesgos) y de la biota, actuando de manera integrada, a la vez que también están influenciados por el grado, tipo y extensión de intervenciones humanas inicialmente presentes en el área.

De acuerdo a lo expuesto, sería erróneo considerar que es posible aislar el efecto, las acciones y los procesos relacionados con un factor independientemente de los demás. Más ajustado a la realidad sería considerar que los cambios en el tiempo de las propiedades (composición, estructura, origen, cantidad, etc.) de los materiales sólidos y líquidos de la fase superficial del ciclo geológico, resultan de una función que reúne la suma de los cambios en los materiales de origen, del clima, del relieve, de la biota y de las actividades humanas, actuando conjuntamente, como lo expone la ecuación (13):

$$d(\text{mslfscg})/dt = f((f(\text{cl},r,b,h). dt) + \text{moi} + (f(\text{mo},r,b,h). dt) + \text{cli} + (f(\text{mo},\text{cl},b,h). dt) + \text{ri} + (f(\text{mo},\text{cl},r,h). dt) + \text{bi} + (f(\text{mo},\text{cl},r,b). dt) + \text{hi}) \quad (13)$$

De la ecuación (13) se deduce la ecuación (14):

$$d(\text{mslfscg}) = (f(\text{cl,r,b,h}) \cdot dt) + (f(\text{mo,r,b,h}) \cdot dt) + (f(\text{mo,cl,b,h}) \cdot dt) + (f(\text{mo,cl,r,h}) \cdot dt) + (f(\text{mo,cl,r,b}) \cdot dt) + \text{mo}_i + \text{cl}_i + \text{r}_i + \text{b}_i + \text{h}_i) \cdot dt \quad (14)$$

Según la cual, los cambios de los materiales sólidos y líquidos de la fase superficial del ciclo geológico (o sea del ecosistema), están determinados por el producto entre el intervalo de tiempo considerado, con la función compuesta de la suma de los estados iniciales de cada factor con las funciones de cada factor. En consecuencia, puede deducirse que, mientras el sistema disponga de energía (propia o proveniente del ambiente) para alimentar por lo menos uno de los procesos que ocurren en los paisajes, estos estarán en constante y continuo cambio: desde el punto de vista conceptual las ecuaciones desde la (1) hasta la (14) establecen que el ecosistema solo alcanzaría el estado de equilibrio cuando se agoten sus fuentes de energía y de materiales.

Por otra parte, no debe considerarse que el primer término de la ecuación (14) contiene una "variable dependiente" y el segundo reúne las "variables independientes". Para fundamentar ello se puede tomar el ejemplo de la relación suelo-biota deducido de la ecuación (1):

$$(s,b) = f(\text{mo,cl,r,b,h,t}) \quad (15)$$

En esta ecuación se han tomado, entre todos los sólidos y líquidos que componen la fase superficial del ciclo geológico, solamente al suelo y la biota. Allí se plantea que los atributos del suelo (s), están determinados, entre otras, por las acciones de la biota:

$$(s) = f(b, \text{mo, cl, r, h, t}) \quad (15a)$$

Es decir que, por ejemplo, los suelos bajo bosque tienen atributos diferentes a los suelos de sabana o, los suelos inundados o mal drenados tienen atributos diferentes a los bien drenados, en parte porque la micro biota de los primeros tiende a ser dominada por los organismos anaeróbicos, mientras que en los segundos predominan las especies aeróbicas. Sin embargo, según (15), lo inverso también es cierto:

$$(b) = f(\text{mo,cl,r,b,h,t})$$

Por lo cual, sustituyendo el segundo término por su equivalente según la ecuación (15a), resulta que:

$$(b) = (s) \quad (15b)$$

Debe tenerse claro que dicha ecuación expresa, no la identidad entre los componentes **b** y **s** del ecosistema, sino que los atributos de la biota representados por (**b**), dependen en parte de los atributos o de la naturaleza del suelo, representados por (**s**) y viceversa. Por ejemplo, la composición taxonómica de las comunidades vegetales o animales, macro o micro, que interactúan con un determinado suelo y la fisiología de las especies presentes, dependen de la disponibilidad de nutrientes, aire y agua en el suelo, por lo que si estas cambian, también lo harán aquellas. A su vez, los cambios que se producen en la biota repercuten en cambios en las propiedades de los suelos.

Entonces el razonamiento anterior permite concluir que, en la ecuación (15) los suelos y la biota son variables interdependientes. Lo mismo puede decirse respecto a los materiales de origen, al clima, al relieve y a las actividades humanas y respecto también a los demás componentes sólidos y líquidos de la fase superficial del ciclo geológico, implícitos en la ecuación (14).

Esta analogía entre los factores de formación de los suelos y de todos los demás constituyentes del planeta que interactúan en la superficie de la Tierra, es la que explica la estrecha relación que existe entre los campos de estudio de las distintas ramas del conocimiento que se ocupan de esos componentes y de los procesos en los que intervienen (biología, climatología, ecología, geología, geomorfología, hidrología, pedología, ...), así como el aporte que cada uno de los enfoques específicos puede realizar para la comprensión del otro.

Uno de los aspectos que según esta conceptualización marca la diferencia entre uno y otro campo de estudio, es el referente a la ubicación y configuración espacial de los cuerpos u objetos considerados por cada uno de esos enfoques. Por ejemplo, la configuración espacial de los suelos se manifiesta principalmente por su proyección en el plano, ya que su estructura puede asimilarse a una cobertura muy

delgada que se extiende sobre la superficie de la litósfera constituyendo la pedósfera. Se caracteriza por su escaso espesor (desde algunos centímetros hasta rara vez más de 10 m), que permite concebirla como un delgado manto o epidermis, restringido a las áreas continentales emergidas (es decir, no cubiertas de agua), donde están ausentes los hielos permanentes y no existen afloramientos rocosos, por lo cual no solo es muy delgada, sino que es una superficie que tiende a rodear al planeta en forma discontinua.

El suelo, entonces, puede concebirse como la epidermis de un cuerpo mayor, más extenso y complejo, que se presenta como una superficie esférica discontinua a lo largo y ancho del la Tierra, que constituye la interfase donde interactúan los componentes sólidos del planeta (suelos, sedimentos, regolitos y rocas) con los componentes líquidos (aguas superficiales continentales o marinas, quietas o corrientes, o aguas sub-superficiales de poros, grietas y cavidades mayores), en un ambiente formado por la atmósfera, la biósfera y la antropósfera. Por lo tanto es un cuerpo tridimensional que tiene mayor desarrollo en profundidad y es más extenso que el suelo, al cual, a su vez, contiene. El cuerpo definido de esa manera ha sido descrito como "paisaje" o "Sistema Pedogeomorfológico" (Elizalde y Jaimes, 1989) y constituye parte del ecosistema (Figura I.1).

La definición de un sistema más extenso que el suelo, que lo engloba y de composición compleja pero más simple que el ecosistema, tiene ciertos aspectos positivos. Por una parte se incluyen en el Sistema Pedogeomorfológico (SPGM) al suelo y sus materiales parentales, solucionando así una de las controversias no perfectamente resueltas de la pedología: ¿hasta dónde se extiende en profundidad el suelo?, ¿forman los materiales parentales parte de él?, ¿es posible y conveniente trazar un límite entre el suelo y los materiales geológicos meteorizados subyacentes? (Tandarich et al., 2002). Además, incluye al sistema hidrológico, es decir al agua, uno de los agentes más importantes del desarrollo de procesos pedogenéticos y geomorfológicos por su participación en las transferencias de materia y de energía y en los ciclos biogeoquímicos. Por otra parte, los sólidos mencionados (rocas, regolitos, sedimentos y suelos) y el agua, son los componentes más estables temporal y espacialmente de los ecosistemas, en relación al aire (atmósfera), los resultados de las actividades humanas (antropósfera) y los componentes bióticos (biosfera); por lo tanto son más adecuados para definir un marco geográfico perdurable que puede ser utilizado para delimitar y representar cartográficamente a los ecosistemas. Esta idea concuerda con Neily et al. (2003), quienes afirman que, dada la complejidad de los ecosistemas es necesario recurrir a algunas interpretaciones para, sin distorsionar el procedimiento científico, hacer las unidades de los mapas más viables y comprensibles. De allí que, según los autores citados, los ecosistemas se describen mejor con base a sus componentes que no cambian significativamente con el tiempo, como los materiales geológicos, los materiales superficiales, las formas del terreno y el relieve.

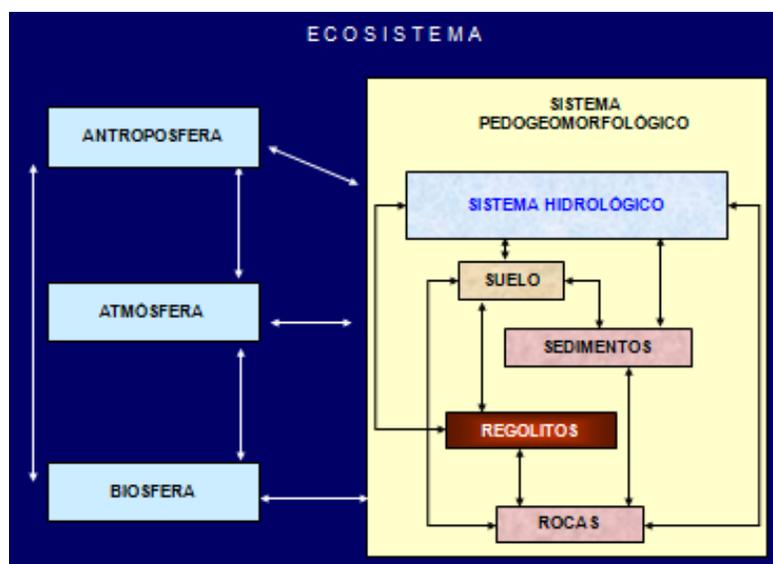


Figura I.1. Esquema del sistema pedogeomorfológico (SPGM), considerado como parte del ecosistema. Basado en Elizalde y Jaimes (1989).

De acuerdo al planteamiento anterior, la superficie del terreno (relieve) constituye el límite superior o superficie del SPGM, el cual es un cuerpo u objeto tridimensional, cuyas características y desarrollo están determinados por sus componentes, los que, a su vez, son el resultado de la interacción de los factores mencionados.

Entre esos factores se encuentran los materiales de origen de los suelos, sedimentos, regolitos y rocas, que tienen gran influencia en la determinación de las características de los paisajes y en el desarrollo de las formas del terreno. En ese sentido, intervendrán aspectos vinculados con la petrografía, la estratigrafía, la estructura geológica, la tectónica y la petrología de las rocas y las propiedades equivalentes de los otros materiales. Debido a ello es ampliamente reconocido que la información al respecto (geológica y demás) que pueda reunirse de los sitios a estudiar es de gran utilidad para la definición y delimitación de unidades de paisajes.

Sin embargo, hay tres preguntas que no han sido completamente respondidas; ellas son las siguientes:

1) ¿A qué nivel de abstracción debe utilizarse la información geológica para la definición de las unidades de paisaje?

2) ¿Toda la información geológica debe ser utilizada para definir un solo nivel conceptual o categoría, o deberá utilizarse escalonadamente?

3) En este último caso ¿cuáles son los aspectos que servirán para definir los niveles más generales de abstracción y cuáles serán útiles en los niveles más detallados?

Un razonamiento similar es válido para los materiales de origen de los otros componentes del SPGM, al igual que para los otros factores de formación (las condiciones del clima, las condiciones del relieve, las características de la biota, las actividades humanas y el tiempo de evolución), para los cuales pueden plantearse las mismas preguntas y el conjunto de respuestas a todas ellas configurará la propuesta de clasificación sistemática de paisajes que se expone en este trabajo.

Termodinámica del paisaje

Durante el desarrollo de los paisajes como SPGM, así como de sus componentes, ocurren intercambios de energía dentro del sistema y entre el sistema y su ambiente que pueden ser expresados por la variación de la energía libre (ΔG). Según Elizalde y Jaimes (1989), las variaciones de energía libre pueden ser representadas por la ecuación:

$$\Delta G_t = V\Delta P - S\Delta T + \Delta W + \Delta G' \quad (16)$$

en la cual ΔG_t corresponde a las variaciones de energía libre total del SPGM, V el volumen, ΔP el cambio de presión, S es la entropía, ΔT el cambio de temperatura, ΔW el trabajo intercambiado entre el paisaje y su ambiente y $\Delta G'$ el cambio de energía libre del SPGM producido por la variación de su composición, cuando no cambian V , T y W .

Como el paisaje es un sistema abierto en contacto con la atmósfera, ΔP tiende a 0, con lo cual el componente $V\Delta P$ prácticamente se anula, entonces:

$$\Delta G_t \approx S\Delta T + \Delta W + \Delta G' \quad (17)$$

Es decir que los cambios de energía libre total del SPGM prácticamente no dependen de su volumen (no dependen del tamaño del paisaje), sino de su entropía (grado de homogeneidad), de los cambios de temperatura, del trabajo intercambiado con su ambiente (paisajes adyacentes, atmósfera, biósfera y antropósfera) y de la energía libre de los materiales provenientes del ambiente, o cedidos por el sistema.

La casi independencia de los cambios de la energía libre necesaria para el sostenimiento de los procesos que determinan la evolución del paisaje, del volumen que este presenta, es uno de los argumentos teóricos más importantes que permite concebir un sistema de clasificación que pueda aplicarse a paisajes de cualquier tamaño.

La variación de la energía libre total del paisaje, ΔG_t , será negativa si para alimentar los procesos que en él ocurren, el sistema gasta más de su propia energía que la recibida del ambiente; en caso contrario será positiva.

Clasificaciones de paisajes

En este momento del razonamiento, el proceso inductivo conduce inmediatamente a las interrogantes más generales: ¿cuál es el paisaje más extenso compuesto por la suma de todos los paisajes individuales existentes? y ¿en qué consiste este paisaje individual? La respuesta a las preguntas anteriores requiere especificar previamente cuál es la amplitud del universo de paisajes a clasificar.

El efecto de cada condición de los factores formadores sobre los atributos de los paisajes es limitado en cuanto al espacio que es capaz de abarcar y limitado en el tiempo que logra mantener sus condiciones determinantes. Estas limitaciones marcan las dimensiones espacio-temporales de los paisajes, así como la magnitud y balance de sus transformaciones, pérdidas y ganancias acumuladas a lo largo del tiempo de desarrollo.

Es decir, los límites de los paisajes son marcados por las formas resultantes del funcionamiento de los elementos geográficos organizados por la acción integrada de los factores formadores. Se considera, entonces, que el paisaje está formado por unidades discretas, morfológicas y funcionales. Con este punto de vista, para iniciar la clasificación hay que reconocer esas unidades que lo constituyen y diferenciarlas, considerando su forma como el resultado del funcionamiento. Tomando en cuenta lo expresado por Coleman (2008), la clasificación persigue reducir la complejidad de los paisajes reales por medio de la agrupación de aquellos que presentan elementos similares y de esa forma elaborar una abstracción conveniente y manejable de las observaciones originales.

El paisaje de mayor extensión posible, el que abarca o agrupa a todos los sistemas pedogeomorfológicos de la Tierra, es la superficie íntegra de la tierra emergida y no cubierta de hielos permanentes del globo terrestre. Esa superficie contiene el universo o totalidad de paisajes a clasificar. Esta afirmación se deriva directamente de la definición de SPGM que ha sido presentada en líneas anteriores.

El paisaje individual, por lo contrario, debe ser una unidad morfológica y funcional relativamente simple, compuesta por elementos que derivan de una interacción específica de factores y procesos formadores, en un espacio y tiempo determinados, a priori pequeños, pero suficientemente amplios como para no desvirtuar el carácter geográfico implícito en el concepto de paisaje. Para López Fernández y López Fernández (1985), una cuestión a dilucidar es: ¿cuál es el área mínima en la que se puede descomponer un paisaje para su estudio, sin que se rompa la realidad de conjunto que el concepto de paisaje encierra?, ya que las formas son producto de un determinado funcionamiento y éste es el que, materializado en el espacio y en el tiempo, los individualiza. El resultado esperado son individuos, cada uno de los cuales es una unidad funcional bien delimitada en el espacio y en el tiempo respecto a los individuos adyacentes, aunque no necesariamente independiente de éstos.

En este ensayo se define al paisaje individual como un sistema pedogeomorfológico cuyos límites laterales corresponden a los de un suelo individual o polipedón⁴. Su límite superior corresponde a la superficie del terreno (roca, regolito, sedimento, suelo o agua), en contacto con la biota y la atmósfera. Su límite inferior corresponde a la superficie irregular por encima de la cual, las acciones supergénicas o exógenas (que caracterizan al SPGM), predominan sobre las endógenas.

Según López Fernández y López Fernández (1985), para individualizar cada unidad de paisaje es necesario encontrar un criterio de validez universal para dividir y subdividir el extenso campo de la superficie terrestre. Es necesario distinguir los conceptos de individualización y de reconocimiento a simple vista: los individuos de paisaje necesitan poder individualizarse, pero no es necesario para ello que su apreciación o reconocimiento sea inmediato.

De los tres límites señalados, el superior es el más sencillo de reconocer a simple vista. La manera más práctica de representarlo en la actualidad es por medio de modelos digitales de terreno o modelos digitales de elevación.

Para el límite lateral, que separa un SPGM específico de otros adyacentes, de extensos cuerpos agua (mares, océanos) o de amplias áreas cubiertas de hielo, se han planteado muy diversos procedimientos, la mayoría de los cuales difieren bastante del propuesto en este trabajo e indicado más arriba. El problema mayor es delimitar entre SPGM adyacentes. En el caso propuesto, es conveniente tener presente que un polipedón se distingue de otro porque difiere en los atributos de uno o más horizontes o

⁴ Una definición de "polipedón" puede obtenerse en Elizalde et al. (2007), Mogollón y Comerma (1994) o Porta et al. (1999).

en sus propiedades diagnósticas⁵. Es ampliamente aceptado que las propiedades de los suelos resultan de los efectos acumulados de los procesos regulados por los factores de formación de suelos, incluyendo al tiempo de interacción de todos sin cambios cualitativos y cuantitativos importantes. El suelo es el componente del SPGM más sensible a los cambios de cualquiera de los otros (rocas, regolitos, sedimentos y aguas), a la vez que es más accesible que los otros componentes sólidos y es más fácil que el agua para obtener una muestra representativa. Respecto a esto último, no debe olvidarse que en el SPGM se consideran todas las formas de agua que pueden encontrarse en la superficie de terrestre (en poros, fisuras, acuíferos subterráneos, aguas superficiales difusas o encauzadas, quietas o corrientes). La forma de obtener este límite lateral entra en el campo de las técnicas de cartografía detallada de suelos.

El límite en profundidad del SPGM está representado por la superficie irregular del frente de meteorización. Desde el punto de vista humano, se trata más de un límite virtual que real, pues siempre será prácticamente imposible apreciarlo directamente. Teóricamente puede ser ubicado mediante técnicas de prospección geofísica o de sondeos. Por ello, la delimitación de los paisajes elementales o individuos paisaje, se basa en la práctica en las características y procesos del SPGM relacionados con la superficie del terreno (límite superior) y con el componente suelo (límite lateral).

Una vez que se han dilucidado los aspectos relacionados con el universo a clasificar y los individuos elementales a ordenar en la clasificación, se presenta una nueva interrogante: ¿Qué relación hay entre los individuos paisaje definidos anteriormente y las categorías utilizadas para agruparlos? La respuesta parte del principio que los paisajes elementales serán en general de pequeña extensión; los más similares se agruparán en las clases de la categoría más baja o detallada. De estas clases, las más similares se agruparán a su vez en clases más heterogéneas y más extensas de una categoría superior y así sucesivamente, hasta alcanzar el agrupamiento de paisajes con mayor número de individuos, que estarán agrupados según una secuencia de categorías desde las menos extensas y más homogéneas, hasta las muy extensas y heterogéneas.

Corresponde ahora encarar la respuesta a la pregunta: ¿Cuántos son los niveles de abstracción o categorías que deben considerarse en una clasificación sistemática de categorías de paisajes?

A lo largo del tiempo y en diferentes regiones del planeta se han dado numerosas respuestas. Huggett (1995), presenta una síntesis de varias propuestas relativas al tema anterior, que se muestran en el cuadro I.1. Según el autor, los paisajes pueden ser vistos a 4 escalas diferentes: micro, meso, macro y mega, de acuerdo al área aproximada que abarcan. A partir de esas áreas, se ha calculado la escala apropiada para su representación cartográfica (columna 1 del cuadro I.1)⁶.

Otros autores han propuesto diferente número de categorías para clasificar los paisajes, como puede extraerse del cuadro I.2, tomado de Jaimes (1985), con algunas modificaciones.

Cuadro I.1. Escalas y terminología aplicada a sistemas de paisajes. Fuente: Modificado a partir de Huggett (1995)

| Escala aproximada | Clase | Área aproximada (Km ²) | Terminología aplicada a las escalas | | |
|-------------------|---------------|------------------------------------|-------------------------------------|----------------|-------------------|
| | | | Fenneman (1916) | Linton (1949) | Whittlesey (1954) |
| 1/3.000 | Micro | <1 | | Sitio | |
| 1/10.000 | Meso | 1 -10 | | | |
| 1/30.000 | | 10 - 100 | | Posición | Localidad |
| 1/100.000 | | 100 - 1000 | Distrito | Terreno | Distrito |
| 1/300.000 | 1000 – 10 000 | Sección | Sección | | |
| 1/100.000 | Macro | 10 000 – 100 000 | Provincia | Provincia | Provincia |
| 1/3.000.000 | | 100 000 – 1 000 000 | División Mayor | División Mayor | Reino |
| 1/10.000.000 | Mega | > 1 000 000 | | Continente | |

⁵ Ver Soil Survey Staff (2010). Keys to Soil Taxonomy. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Eleventh Edition.

⁶ Para este cálculo se ha supuesto arbitrariamente que el mapa debería tener un tamaño de 20 por 20 cm (400 cm²)

Cuadro I.2. Escalas de expresión cartográfica y niveles de abstracción de diferentes sistemas de clasificación de paisajes. Basado en Jaimes (1985), con modificaciones

| Escala | Christian y Stewart (1953) | Freile (1962) | Tricart (1966) | Conacher y Dalrymple (1977) | Steegmayer y Bustos (1980) | Zinck (1981) | Elizalde (1983) | Zinck (1988) |
|----------------|----------------------------|---------------|----------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------|-----------------|----------------------|
| <1/100 000 000 | | | 1 | | | | | |
| 1/100 000 000 | | | 2 | | | | | |
| 1/30 000 000 | | | | | | | 1 | Geoestructura |
| 1/10 000 000 | | Provincias | 3 | | | Provincias | 2 | Ambiente morfológico |
| 1/ 2000 000 | | Regiones | 4 | | | Regiones | 3 | |
| 1/300 000 | Sistema de tierra | Unidades | | | Sistemas de relieve | | 4 | Paisaje |
| 1/ 125 000 | | | 5 | | Unidades de relieve | Tipos de paisajes | 5 | Relieve-modelado |
| 1/ 25 000 | Facetas | | 6 | Sistema de tierra | Formas y/o posiciones | Tipos de relieves | 6 | Litología-facies |
| 1/ 10 000 | Elementos | | | Cuencas y catenas | | Formas de terreno | 7 | Forma del terreno |
| > 1/10 000 | | | 7 y 8 | Unidades de terreno | | | 8 | |

El mapa de paisajes de Europa a escala 1: 2 000 000 (LANMAP2), define cuatro niveles o categorías, las cuales no cubren sino los agrupamientos de paisajes más generales (clase macropaisajes, según Huggett 1995), de acuerdo a la escala indicada para dicho documento (Mücher *et al.*, 2010).

En la provincia canadiense de Nueva Escocia, Neily *et al.* (2003), muestran que la clasificación de terrenos ecológicos, que contempla la distribución y composición de los paisajes terrestres en la región, consta de cinco niveles. Esa clasificación de ecosistemas se basa en criterios abióticos o físicos y biológicos, como se muestra en el Cuadro I.3.

Cuadro I.3: Criterios utilizados para delinear unidades de paisajes para el mapa de terrenos ecológicos de Nueva Escocia. Tomado de Neily *et al.*, (2003)

| Unidades Ecológicas | Escala de Mapa | N° de unidades | Criterios para Delinear Unidades |
|---------------------|----------------|----------------|---|
| Ecozona | 1:1 000 000 | 1 | Clima global o continental reflejado por la vegetación |
| Ecorregión | 1:500 000 | 9 | Clima provincial expresado a través de los suelos y la vegetación |
| Ecodistrito | 1:250 000 | 39 | Subdivisiones de ecorregiones caracterizada por distintos conjuntos de relieve, geología, paisajes, suelos y vegetación |
| Ecosección | 1:50 000 | 637 | Un patrón repetitivo de paisajes, topografía, suelos y vegetación dentro de un ecodistrito. Son posibles un máximo de 63 combinaciones de atributos físicos |
| Ecositio | 1:10 000 | n.a. | Uniformidad de materiales parentales, suelos, vegetación e hidrología expresada por la pendiente, posición en la pendiente, aspecto y exposición |

En este caso, el rango espacial que cubren las 5 clases de unidades ecológicas corresponde a las clases mesopaisajes y macropaisajes, todas ellas englobadas dentro de una sola unidad climática continental.

Algunos autores han propuesto para Venezuela varias clasificaciones con distinto número de categorías. Algunas de ellas se mencionan en el cuadro I.2. Freile (1962), propone una clasificación con tres (3) niveles. Zinck (1981), plantea una clasificación de cinco (5) niveles de abstracción y de seis (6) categorías en 1988. Steegmayer y Bustos (1980), proponen tres (3) categorías para ser utilizadas específicamente en cuencas altas.

En todos los casos se puede reconocer que el número de escalones (categorías) será función de los niveles de síntesis con los que se estudiarán las formas de la superficie terrestre y que se expresan mediante una escala de reducción de los fenómenos u objetos naturales, cuando se representan en un mapa.

Las escalas a las cuales se estudian los fenómenos geomorfológicos varían considerablemente según los propósitos perseguidos, que a su vez se relacionan con los procesos que se consideran relevantes. En términos generales, los estudios pueden ser a nivel del globo o de continentes, a nivel de países, a nivel de regiones (estudios de gran visión) o en áreas más pequeñas en estudios semidetallados o detallados. Por ello, las escalas pueden estar comprendidas entre extremos tan distintos como inferiores a 1:10.000.000 o mayores de 1:1.000. Debido a ello, el análisis de los ejemplos mostrados en los cuadros anteriores evidencia que las dimensiones de los paisajes a clasificar son muy diferentes de un autor a otro.

Una clasificación de paisajes de carácter universal, debe proporcionar unidades adecuadas para cada uno de los niveles de síntesis o de abstracción, aunque, evidentemente, no puede haber una correspondencia exclusiva entre los niveles de abstracción y las escalas de levantamiento. Las características específicas de cada región determinan que una escala que resulta adecuada para expresar los paisajes de una zona con cierto grado de abstracción, puede servir para exponer los paisajes de otra zona con diferente grado de detalle o categoría. Lo indicado conlleva hacia dos situaciones cartográficas diferentes, según el parámetro determinante sea el nivel de abstracción o la escala de trabajo; en el primer caso, una región puede ser analizada con cierto nivel de abstracción, por lo cual los resultados se expresan mediante mapas que cubren una determinada gama de escalas adecuadas. En el segundo caso, el estudio de una región a cierta escala predeterminada, puede hacerse a varios niveles de abstracción o niveles categóricos.

Se entiende que los niveles más detallados deben separar áreas completamente incluidas en las unidades inmediatamente más generales. Es decir que un paisaje específico es una entidad geográfica reconocida o definida a cierto nivel categórico como miembro de una sola clase, que puede ser subdividido en áreas distintas si se pasa a una categoría más detallada y que solamente pertenece a una sola de las clases de las categorías más generales.

Como la clasificación que se propone considera cada paisaje como un sistema objeto (sistema pedogeomorfológico), el procedimiento a seguir constituye "un modelo de clasificación sistemático y jerárquico, que contempla en forma escalonada las propiedades fundamentales de los componentes y permite obtener las relaciones filiales – parentales de la unidad de paisaje con unidades de paisajes de orden jerárquico superior e inferior" (relaciones de herencia entre clases de diferentes categorías), "así como las relaciones entre paisajes de la misma jerarquía (relaciones "fraternales")" (Elizalde, 2005).

Según el mismo trabajo (Elizalde, op.cit.), este "procedimiento de clasificación ... permite definir los tipos de paisajes y los tipos de componentes de los paisajes, las asociaciones de cada paisaje con otros paisajes, la composición de cada uno descrita según el nivel de generalización que corresponda, los vínculos entre el objeto paisaje analizado y los paisajes más generales que lo contienen (y le confieren atributos heredados), así como los paisajes englobados como objetos de menor jerarquía dentro del objeto paisaje estudiado."

El enfoque sistémico orientado a objeto adoptado para la clasificación, permite desarrollar modelos específicos para los componentes del paisaje o para el paisaje como entidad integral, a diversos niveles de abstracción determinados por la clasificación sistemática y, además, establecer las relaciones entre componentes, entre clases y entre categorías, manteniendo las relaciones de jerarquía y de herencia que establece la clasificación de paisajes.

Una característica de los paisajes definidos como sistemas objeto es su pertenencia y no exclusividad; el paisaje es un objeto que forma parte, junto con otros sistemas de jerarquía equivalente, a un sistema mayor, más amplio y complejo (sistema parental), caracterizado por ciertos atributos de estructura y comportamiento. Pero ese objeto puede formar parte también y simultáneamente de otro sistema parental, un agrupamiento de otra naturaleza, caracterizado por otros atributos estructurales y de comportamiento. Es decir que el paisaje es un objeto que conserva su integridad aunque sea transferido de un contexto a otro y que, en definitiva, estará definido por la suma de todos los atributos estructurales y de comportamiento que lo caracterizan, incluyendo a los heredados de sus diferentes sistemas parentales (es decir enfoques o puntos de vista distintos).

Desde este punto de vista, un paisaje es una entidad definida por atributos estructurales y por procesos y flujos de materia o de energía y que conserva su integridad ya sea considerado como un elemento

geográfico físico natural, parte de una secuencia de entidades administrativas o de cualquier conjunto definido a partir de otros atributos estructurales y de comportamiento. Por lo tanto, como el paisaje es un sistema objeto, mantiene sus propiedades esenciales aunque sea considerado como miembro de distintos universos. Lo mismo puede decirse de cada uno de sus componentes (rocas, regolitos, sedimentos, suelos y agua). En el ejemplo de la Figura 1.2, el pequeño círculo negro (●) representa un “tipo de paisaje”, es decir un sistema pedogeomorfológico definido por los atributos que corresponden a esa categoría de la clasificación. Como tal pertenece al universo de entidades físico naturales. Pero ese mismo paisaje también pertenece al universo de unidades de tierra destinadas a la producción agrícola, forma parte del universo de alguna unidad político administrativa (estado, municipio, parroquia,...), a la vez que puede ser considerado como el espacio geográfico que contiene una entidad específica del universo de comunidades socioculturales. El hecho de ser visto como individuo o entidad propia de cualquiera de esos universos no altera las características esenciales que lo definen. Es un sistema objeto que mantiene su identidad, sus características estructurales y de comportamiento (procesos y flujos de materia y de energía): conserva su integridad a la vez que manifiesta sus características de pertenencia y no exclusividad.

Es importante aclarar que la característica de no exclusividad se refiere a la posibilidad de un sistema objeto de pertenecer a distintas clases, pero de clasificaciones de distinta índole. Una vez definido un paisaje, un suelo, un horizonte o una roca, como perteneciente a una determinada clase de un sistema dado de clasificación geomorfológica o de suelos, horizontes o de rocas, él ya no puede ser asignado a otra clase del mismo sistema de clasificación (a menos que haya una rectificación de la clasificación). En algunos casos el conocimiento parcial que se dispone del sistema, impide clasificarlo con certeza: sólo se puede asignar una probabilidad PA de que pertenezca a la clase A y una probabilidad PB de que en realidad pertenezca a la clase B. Es importante resaltar que este último aspecto establece la transición entre la clasificación coroplética que surge del procedimiento desarrollado y la clasificación de clases difusas o borrosas, frecuentemente considerada como opuesta a la anterior, pero que en la práctica se muestra como complementaria.

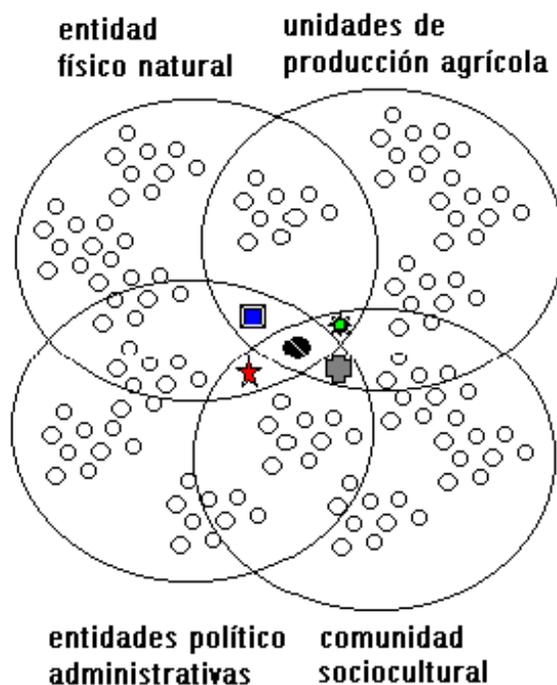


Figura 1.2: Esquema que permite explicar las características de pertenencia y no exclusividad de los sistemas objeto y de conservación de la integridad al sistema pedogeomorfológico. El pequeño círculo negro (●) representa a un sistema objeto (un paisaje) que forma parte de cuatro universos distintos, pero en todos ellos es el mismo sistema objeto. Fuente: Elizalde (2005), adaptado de Martin y Odell (1994).

La característica de pertenencia permite implementar un sistema de codificación para la identificación de cada unidad de paisaje que indique la categoría, la clase y la pertenencia. El sistema propuesto es simple: un código formado por caracteres alfanuméricos, compuesto por un número de dígitos igual a la categoría de la clase identificada: uno solo para las clases de la categoría más general, dos para las clases de la siguiente y así sucesivamente. Todas las clases de paisajes de cierta categoría que pertenezcan a la misma clase del nivel inmediatamente superior, se identificarán por códigos que solo diferirán en el último de los dígitos (que se encuentra en el extremo derecho del código). Ello permite que, al comparar los códigos de varias unidades de paisaje, de inmediato sea evidente a que categoría han sido clasificadas, hasta que nivel o categoría son similares y a partir de cual han sido diferenciadas.

Lo expuesto se ha plasmado en un ejemplo hipotético en la figura I.3. Allí se observa que en la categoría 1 se han reconocido 2 clases de paisajes: O y A. En la categoría 2 se definen 3 clases de paisajes vinculados a la clase O (OX, OY y OZ) y 2 dentro de la clase A (AF y AB). Se puede interpretar que hay una relación filial entre los paisajes OX, OY y OZ y el paisaje O y una relación fraternal entre ellos tres, es decir que comparten un conjunto de atributos que han sido heredados de O. Lo mismo ocurre entre el paisaje A y AF y AB. En la figura I.3, la secuencia continúa hasta la categoría 6, donde se representan los códigos de las clases OXCPU1, AFGLN6 y AFQJK1. Las casillas en blanco corresponden a clases de diferentes categorías que no se han representado para abreviar el ejemplo. Uno de los paisajes clasificados a nivel 6, según los códigos que los identifican, pertenece a la secuencia filiatoria (filum) del paisaje O y por ello se diferencia de los otros dos ya a nivel 1; estos dos pertenecen a la misma clase (filum AF) hasta la categoría 2 y se diferencian entre sí al alcanzar la categoría 3.

Los signos alfanuméricos utilizados para la creación de los códigos pueden ser elegidos arbitrariamente, pero debe mantenerse su consistencia a lo largo de la secuencia de clasificación. En el ejemplo expuesto, se ha utilizado el número 1 para completar el código de la sexta categoría de dos de los paisajes clasificados; en este ejemplo ello podría significar que ambos son similares respecto a los atributos considerados para definir las clases de esa categoría, pero que difieren en los atributos, de mayor peso o importancia, que se han considerado para definir las clases de las categorías más elevadas. La confirmación de si ello es realmente así o no en un caso concreto, debe ser dada por medio de la definición de las respectivas clases.

| | | C L A S E S | | | | | | | | | | | |
|--|---|-------------|------------|----------|-----|-----|------------|-----|----------|------------|-----|--|--|
| C A T E G O R I A S | 1 | O | | | | | | A | | | | | |
| | 2 | OX | | | OY | OZ | AF | | | AB | | | |
| | 3 | OXC | | OXM | OYD | OZE | AFG | AFI | AFW | AFQ | ABR | | |
| | 4 | OXC J | OXCP | OXM A | | | AFGL | | AFW T | AFQJ | | | |
| | 5 | | OXCPU | | | | AFGLN | | | AFQJ K | | | |
| | 6 | | OXCPU 1 | | | | AFGLN 6 | | | AFQJ K1 | | | |
| | 7 | | | | | | | | | | | | |
| | 8 | | | | | | | | | | | | |
| n | | | | | | | | | | | | | |

Figura I.3: Representación esquemática de las nociones de categorías y clases de paisajes, de las relaciones filiales – parentales y fraternales derivadas de considerar a los paisajes con el enfoque sistémico orientado a objeto. Fuente: elaboración propia, basado en Elizalde (2005)

Debido a lo expuesto, se propone una clasificación de ocho niveles de abstracción o categorías, niveles 1, 2,..., 8, desde los más generalizados, hasta los más detallados. Las escalas de expresión que serían más adecuadas para cada uno de los niveles se muestran en el Cuadro I.4 y en la Figura I.4. En la medida que una zona se estudia con mayor detalle, la escala de representación aumenta logarítmicamente.

En la figura I.4, las 8 categorías de la clasificación se presentan en abscisas, según una serie lineal y las escalas se presentan en ordenadas en una serie logarítmica. En la figura se muestran 3 líneas; la del centro corresponde a la relación media propuesta en el cuadro I.4; las otras dos corresponden a los márgenes o rangos de escalas dentro de los cuales se considera adecuada la representación de cada categoría de paisaje.

Cuadro I.4: Correspondencia entre niveles de abstracción y escalas de mapeo

| NIVELES DE ABSTRACCIÓN O CATEGORÍAS | | ESCALA DE EXPRESIÓN APROPIADA | |
|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------|
| NIVELES | CATEGORÍAS | RANGOS | MEDIAS |
| 1 | MEGARREGIONES | 1: 10 000 000 o más pequeñas | 1: 30 000 000 |
| 2 | REGIONES | 1: 1 700 000 - 1: 25 000 000 | 1: 10 000 000 |
| 3 | PROVINCIAS | 1: 500 000 - 1: 6 000 000 | 1: 2 000 000 |
| 4 | SUB PROVINCIAS | 1: 125 000 - 1: 1 500 000 | 1: 500 000 |
| 5 | UNIDADES LITOGOMORFOLÓGICAS | 1: 25 000 - 1: 500 000 | 1:125 000 |
| 6 | TIPOS DE PAISAJES | 1: 6 000 - 1: 125 000 | 1: 30 000 |
| 7 | TIPOS DE RELIEVES | 1: 1 800 - 1: 30 000 | 1: 10 000 |
| 8 | FORMAS DE TERRENO | 1: 10 000 o mayor | 1: 2 500 |

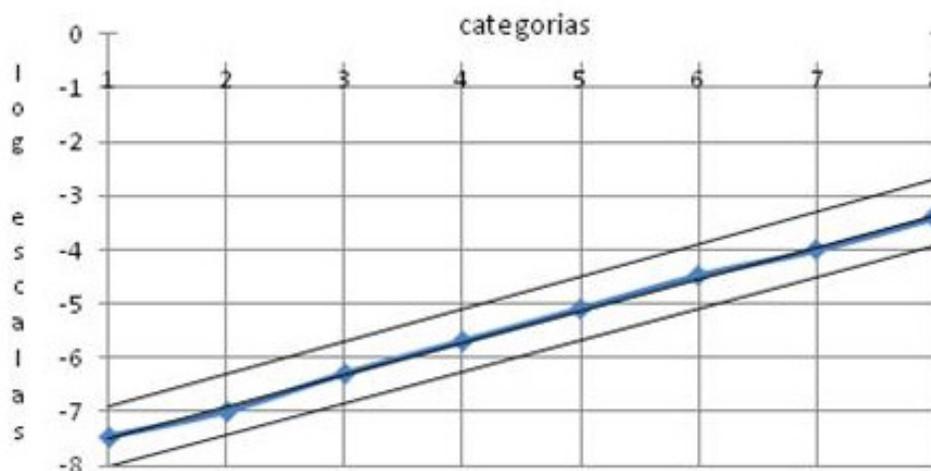


Figura I.4: Relación entre las categorías de la clasificación de paisajes (en abscisas) y las escalas adecuadas para su representación cartográfica (en ordenadas logarítmicas).

Tal como se ha indicado previamente, es evidente en esta figura que una escala determinada, por ejemplo 1: 125 000 (corresponde a la ordenada logarítmica -5,1), que se considera conveniente para exponer la categoría 5, es también adecuada para representar paisajes desde la categoría 4 hasta la 6. Pero también, se interpreta de la citada figura que la categoría 5 puede ser mapeada a escalas comprendidas entre 1: 25 000 hasta 1:500 000 (ordenadas -4,4 y -5,7 respectivamente).

La propuesta conduce a la utilización escalonada de los aspectos relacionados con los diferentes factores de formación. Para los niveles más generales se seleccionaron atributos de los paisajes que se extienden por grandes superficies y perduran largo tiempo incambiables. Contrariamente, para distinguir

las clases de los niveles detallados se utilizan propiedades que tienden a cambiar rápidamente en el tiempo y en el espacio. A continuación se definirán cada uno de los ocho niveles de abstracción, comenzando por los más generalizados.

Los primeros niveles toman en cuenta, en forma primordial, algunos aspectos geológicos de las áreas consideradas; es decir, que hacen énfasis en las características petrológicas, estructurales y litoestratigráficas de los materiales parentales o de origen; los aspectos relacionados con el relieve, las características bioclimáticas y la edad de los procesos, son tomados en cuenta pero supeditados a los anteriores. Para los niveles más detallados resultan importantes los atributos vinculados a los otros factores de formación, como el relieve, las características bioclimáticas y la edad de los procesos; también son tomados muy en cuenta los aspectos petrográficos de los materiales parentales, pero los aspectos petrológicos, estructurales y litoestratigráficos de los materiales de origen se consideran complementarios. No debe olvidarse que las clases de las categorías más detalladas "heredan" los atributos más importantes de las clases de las categorías más generales a las cuales pertenecen. Es decir que la cantidad de atributos que las caracterizan es la suma de todos los atributos que caracterizan a las clases más generales que la engloban.

El grado de generalización y de abstracción de las categorías de paisajes más altas, es tan grande que la información necesaria para alcanzar esta subdivisión debe provenir de documentos de síntesis, laborados a escalas pequeñas, como mapas geológicos de síntesis, imágenes de satélites y modelos digitales de terreno procesados a pequeñas escalas. Debido sus características propias, las clases han adquirido su estado actual hace por lo menos varios decenios de millones de años y mantendrán esas condiciones durante decenas o centenas de millones de años. Precisamente esa gran estabilidad o persistencia en el tiempo, aunada a la gran extensión que alcanzan, es determinada por los atributos que se han seleccionado para su definición.

La selección de las características geológicas como el criterio más importante para la definición de la categoría más alta, establece una de las diferencias que tiene el sistema propuesto en este trabajo con otras propuestas, que toman las condiciones climáticas como uno de los criterios más importantes para las primeras subdivisiones. Para sustentar esa propuesta, por una parte, se reitera que las descripciones del clima se basan fundamentalmente en las características de la atmósfera, es decir del aire, que por su naturaleza fluida está en permanente movimiento y cambio de estado; además, la ocurrencia de los cambios climáticos actualmente aceptados, se opone al principio adoptado en esta propuesta que las clases definidas en las categorías más generales, deben ser de larga permanencia. Finalmente, en las áreas montañosas, el gradiente térmico provocado por las diferencias de alturas conduce a cambios climáticos importantes en espacios relativamente pequeños; ello contraria otro principio adoptado aquí, referente a que los paisajes de las primeras categorías deben ser muy extensos.

Por lo expuesto, resulta en la práctica, que los procedimientos para delimitar las unidades de paisajes, se basan en la distribución espacial de los componentes sólidos, aun cuando se pretenda establecerlos a partir de las condiciones climáticas. Un ejemplo de ello son los criterios utilizados para la delineación de las unidades de terrenos ecológicos de Nueva Escocia (cuadro I.3).

Una herramienta pragmática para determinar si un sector que presente los atributos de una de las clases correspondientes a una determinada categoría debe ser cartografiado como unidad geomorfológica independiente o corresponde considerarlo como una inclusión dentro del territorio de la otra clase, es el concepto de área mínima media de representación cartográfica. Esta propuesta se deriva de la unidad mínima cartografiable, la cual como su nombre lo indica, es la mínima superficie de un mapa que puede discriminarse con la simbología correspondiente manteniendo su legibilidad. La unidad mínima media, obviamente, debe ser mayor a la mínima absoluta, por lo cual, de una manera hasta cierto punto arbitraria y altamente pragmática, se propone que corresponda a la superficie de 1 cm².

Con base en las escalas medias de representación de las distintas categorías mostradas en el cuadro I.4, se ha calculado la superficie mínima media que debe tener un determinado tipo de paisaje para que sea discriminado como una clase independiente en un mapa geomorfológico; el resultado se expone en el cuadro I.5. Según lo indicado, una porción de territorio que presente los atributos requeridos, por ejemplo, por una clase de megaregión, debe tener una extensión de por lo menos 90.000 Km² para ser considerada una delineación cartografiable.

Como resumen de los aspectos desarrollados anteriormente, se exponen en el cuadro I.6 los criterios principales que permiten identificar las unidades homogéneas en cada categoría.

CUADRO Nº I.5: Correspondencia entre niveles de abstracción, categorías, escalas medias de mapeo y área mínima media cartografiable.

| NIVEL DE ABSTRACCIÓN | CATEGORÍA | ESCALA MEDIA | ÁREA MÍNIMA MEDIA |
|----------------------|----------------------------|---------------|------------------------|
| 1 | MEGARREGIÓN FISIOGRÁFICA | 1: 30 000 000 | 90 000 Km ² |
| 2 | REGIÓN FISIOGRÁFICA | 1:10 000 000 | 10 000 Km ² |
| 3 | PROVINCIA FISIOGRÁFICA | 1: 2 000 000 | 400 Km ² |
| 4 | SUB PROVINCIA FISIOGRÁFICA | 1: 500 000 | 25 Km ² |
| 5 | UNIDAD LITOGEOFOLÓGICA | 1: 125 000 | 1, 5 Km ² |
| 6 | TIPO DE PAISAJE | 1: 30 000 | 9 ha |
| 7 | TIPO DE RELIEVE | 1: 10 000 | 1 ha |
| 8 | FORMA DE TERRENO | 1: 2500 | 625 m ² |

Cuadro I.6. Criterios de reconocimientos de las clases en las diferentes categorías

| NIVEL DE ABSTRACCIÓN | CATEGORÍA | CRITERIOS DE RECONOCIMIENTO DESCRIPCIÓN | ÁREA MÍNIMA MEDIA |
|----------------------|----------------------------|---|------------------------|
| 1 | MEGARREGIÓN FISIOGRÁFICA | Petrología: distingue áreas orogénicas de cuencas sedimentarias no afectadas por orogénesis | 90 000 Km ² |
| 2 | REGIÓN FISIOGRÁFICA | Tipo de relieve general (cordilleras, llanos, cuencas sedimentarias, depresiones tectónicas, etc.), distribución geográfica, petrología, estructura geológica y estratigrafía | 10 000 Km ² |
| 3 | PROVINCIA FISIOGRÁFICA | Configuración del relieve, distribución geográfica, grupos de formaciones geológicas afines, sedimentos de cuencas complejas | 400 Km ² |
| 4 | SUB PROVINCIA FISIOGRÁFICA | Distribución geográfica, estructura del relieve, estructura geológica, intensidad de la actividad tectónica, grupos de formaciones geológicas afines, sedimentos de cuencas intermedias | 25 Km ² |
| 5 | UNIDAD LITOGEOFOLÓGICA | Litoestratigrafía a nivel de formaciones geológicas o sedimentos de sistemas aluviales de orden elevado provenientes de cuencas de ablación homogéneas u otros sistemas sedimentarios extensos. Separación de formaciones superficiales extensas | 1, 5 Km ² |
| 6 | TIPO DE PAISAJE | Configuración de terreno, pendiente general, condiciones bioclimáticas, génesis de las formas | 9 ha |
| 7 | TIPO DE RELIEVE | Configuración del terreno, alturas relativas, líneas divisorias de aguas (microcuencas), patrones de drenaje superficial, expresión de la estructura geológica, génesis de las formas. | 1 ha |
| 8 | FORMA DE TERRENO | Petrografía de los materiales que constituyen las formas, estructura geológica de los mismos, posición estratigráfica, tipo e intensidad tectónica, perfil topográfico, génesis de las formas y dinámica actual de los sitios. Conociencias de familias de suelos | 625 m ² |

CONCLUSIONES

Esta clasificación considera al paisaje como la parte del ecosistema denominada sistema pedogeomorfológico, compuesta por los sólidos más estables (suelos, sedimentos, regolitos y rocas) y por los componentes de la hidrosfera que interactúan con ellos. Con ese fin se define con precisión el término paisaje, el universo de paisajes a clasificar, así como el paisaje elemental o individuo paisaje. Establece así un marco para delimitar ecosistemas basados en la distribución espacial de sus componentes temporalmente más estables. Este marco delimita espacialmente entornos geográficos que conservan su identidad, más allá de los puntos de vista y usos que se desee dar a la clasificación.

La jerarquización de las categorías considera en forma secuencial variables de menor a mayor variabilidad espacio-temporal. En ese sentido, se privilegia la información geológica para la caracterización de las categorías más generales, debido a la mayor estabilidad espacio-temporal del entorno geológico, respecto a los otros componentes de los paisajes. En forma opuesta, se utiliza la distribución espacial del componente edáfico como uno de los criterios importantes para la identificación y delimitación del paisaje elemental. Se proponen los rangos de escalas apropiadas para la representación cartográfica de cada categoría. La primera categoría, Megarregiones Fisiográficas, corresponde a paisajes de gran extensión (superior a 90 000 km²) y estabilidad temporal por decenas o centenas de millones de años, que se pueden mapear a escalas del orden 1: 30 000 000, mientras que la categoría más detallada, Forma de Terreno, corresponde a paisajes muy poco extensos (entre 625 m² y 1 ha), que pueden ser mapeados a escalas superiores a 1: 10 000.

La serie de ecuaciones que se formulan explican por qué los paisajes están en permanente cambio y alcanzarán el estado de equilibrio solo cuando se agoten sus fuentes de energía y de materiales.

Debido a que la clasificación propuesta en este trabajo se fundamenta en una noción sistémica de paisaje, al concebir al mismo como un sistema pedogeomorfológico que permite definir componentes cuyas propiedades, estructura y procesos están relacionados con un conjunto de factores formadores que controlan los flujos de materia y de energía, los mapas obtenidos tienen muchos campos de aplicación:

- Sirven como marco para nuevos mapas geomorfológicos más detallados
- Constituyen un marco de referencia para la correlación regional o internacional de paisajes
- Sirven como marco para la elaboración de mapas de unidades ecológicas, de suelos, de vegetación, de unidades agroecológicas o similares
- Permiten identificar y conocer la distribución espacial de los indicadores de riesgo ambiental de diferentes tipos de usos de la tierra
- Son adecuados para la identificación, integración y desglose de las presiones ejercidas sobre la biodiversidad de los ecosistemas
- Pueden ser empleados para la selección de áreas de referencia de paisajes adecuados para identificar y medir los indicadores orientados a políticas agroambientales.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se basa en investigaciones financiadas por la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela, CDCH y CONICIT.

LITERATURA CITADA

- Abreu, X. y G. Elizalde.** 2000. Evaluación de las relaciones entre la complejidad pedogeomorfológica y los tipos de uso de la tierra en micro cuencas pertenecientes a la cuenca alta del río Guárico (Venezuela). *Rev. Venesuelos*, Vol. 8, N° 1 y 2; 9 - 17
- Coleman, A. M.** 2008. An Adaptive Landscape Classification Procedure Using Geoinformatics and Artificial Neural Networks. Submitted in part fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Geographical Information Systems. Faculty of Earth and Life Sciences. Vrije Universiteit, Amsterdam. The Netherlands. 197 p.
- COPLANARH** 1974a. Inventario Nacional de Tierras. Estudio Geomorfológico de los Llanos Orientales (Región 7 y 8, Sub-Región 7C,8A,8B, Zonas 7C2,8A2,8A3,8B1 y 8B2). Caracas. 164 p.

- COPLANARH.** 1974b. Inventario Nacional de Tierras. Estudio Geomorfológico de los Llanos Centro Orientales (Región 7. Subregión 7C. Zona 7C1 y 7C2). Caracas. 129 p.
- COPLANARH.** 1975. Inventario Nacional de Tierras. Estudio Geomorfológico de la Región del Lago de Maracaibo (Región 1. Sub-región 1A,1B,1C). Caracas. 156 p.
- Elizalde, G.** 1983. Ensayo de clasificación sistemática de categorías de paisajes. Primera aproximación Instituto de Edafología. Facultad de Agronomía, UCV, Maracay. Incluido también en Pernía (1989). 34 p.
- Elizalde, G.** 2000. Línea de Investigación de Geomorfología y Génesis de Suelos, basada en la definición del Sistema Pedogeomorfológico. Trabajo de Ascenso a Profesor Asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. Memoria de 16 páginas y 14 publicaciones seleccionadas.
- Elizalde, G.** 2005. Desarrollo de un enfoque metodológico para el estudio de sistemas pedogeomorfológicos y de los suelos como componentes de los paisajes. Trabajo presentado para optar al ascenso a la categoría de Profesor Titular. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. Memoria de 50 páginas y 12 publicaciones seleccionadas.
- Elizalde, G.** 2009. El suelo en la fase superficial del ciclo geológico. A publicar en la edición electrónica de Geoenseñanza, Volumen 14, (2) p.265-292. Revista Venezolana de Geografía y su Enseñanza. Universidad de Los Andes-Táchira.
- Elizalde, G. y M. Daza.** 2000. Evaluación de amenazas de movimiento en masa en paisajes montañosos: ejemplo en el estado Vargas (Venezuela). Venesuelos, Vol. 8, N° 1 y 2, 29 – 42.
- Elizalde, G. y E. Jaimes.** 1989. Propuesta de un modelo pedogeomorfológico. Revista Geográfica Venezolana, XXX, 5 – 36.
- Elizalde, G, Viloría, J y A. Rosales.** 2007. Geografía de suelos de Venezuela. En GeoVenezuela, Tomo 2, Medio Físico y Recursos Ambientales, cap 15, p. 402-537. Fundación Empresas Polar. Caracas.
- Fernández, L. y G. Elizalde.** 2001. Clasificación de paisajes en la cuenca del río Tucutunemo (Estado Aragua). Terra. Volumen XVII, Num. 26. Págs. 59-76.
- Freile, A.** 1962. Fisiografía de Venezuela. Mapa incluido en "Atlas de Venezuela". Dir. Cart. Nac. Dir. Gen. Inf. Inv. Amb. MARNR. 1979. Caracas.
- Hartshorne, R.** 1939. The nature of Geography. Lancaster, Pennsylvania. Association of American Geographers. 482 p.
- Higueras Arnal, A.** 1999. Introducción al análisis geográfico regional. Reflexiones acerca del paisaje. Espacio, Tiempo y Forma, Serie VI, Geografía, t. 12, p. 83-98.
- Huggett, R.J.** 1995. Geocology: an evolutionary approach. Routledge. London and N.York, 324 p.
- Jácome A., J. Viloría y G. Elizalde.** 2001. Separabilidad de unidades pedogeomorfológicas en un sector del sur del Estado Aragua, por medio del análisis digital de imágenes de satélite y un modelo digital de terreno. Agro. Tropical 51 (1). 49-63.
- Jaimes, E.** 1985. Análisis de las relaciones geomorfología-suelos en las cuencas altas de los ríos Aragua y Petaquire. Serranía del Litoral central, Cordillera de la Costa. Tesis de Maestría en Ciencia del Suelo. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, 167 p.
- Jenny, H.** 1994 Factors of Soil Formation. A System of Quantitative Pedology. Dover Publications, Inc. New York. Puede consultarse en: <http://www.soilandhealth.org/01aglibrary/010159.Jenny.pdf>
- López Fernández, S. y M.L. López Fernández.** 1985. Geografía-Paisaje-Taxonomía. Pub. Biol. Univ. Navarra. S. Bot., 5: 23-44.
- M.A.R.N.R.** 1989 Primer Taller Nacional de Agrología. El Blanquito, estado Lara. Publicación MARNR, CIDIAT y Fundación de Educación Ambiental. 157 p.
- Martin, J. y J.J. Odell.** 1994. Análisis y Diseño Orientado a Objetos. Editorial Prentice Hall, México. 546 pp.
- Mogollón, L. y J. Comerma.** 1994. Suelos de Venezuela. Palmaven. Petróleos de Venezuela, C. A. Caracas, Venezuela. Ex Libris. 313 p.
- Mücher, C.A., Klijn, J.A., Wascher, D.M. y J.H.J. Schaminée.** 2010. [A new European Landscape Classification \(LANMAP\): A transparent, flexible and user-oriented methodology to distinguish landscapes](#). Ecological Indicators. 10:87-103.

- Neily, P. D., Quigley, E., Benjamin, L., Stewart, B. y T. Duke.** 2003. Ecological land classification for Nova Scotia. Volume 1 - Mapping Nova Scotia's Terrestrial Ecosystems. Nova Scotia Department of Natural Resources. Renewable Resources Branch.
- Pernía, E.** 1989. "Guía práctica de Fotointerpretación". Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Ingeniería Forestal, Mérida. 43 p.
- Porta, L., López Acevedo M. y C. Roquero.** 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Mundi-Prensa. España, 850 p.
- Rondón C. y G. Elizalde.** 1994. Procesos pedogenéticos en un modelo de sistema suelo, formado por nueve subsistemas. *Venesuelos* 2(1):32-36.
- Sauer, C.** 1925. The Morphology of Landscape. In *Land and Life: A selection from the Writings of Carl Ortwin Sauer*, ed. John Leighly, 1969, pp. 315 – 350. Berkeley, University of California Press.
- Soil Survey Staff** 2010. Keys to Soil Taxonomy. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Eleventh Edition.
- Steegmayer, P. y R. Bustos.** 1980. Proposición metodológica para estudios de suelos en Cuencas Altas. Div. Inf. Amb.. MARNR. Serie Informes Técnicos. Zona 6 San Cristóbal.
- Tandarich, J. P., Darmody, R. G., Follmer L. R. and D. L. Johnson.** 2002. History of Soil Science. *Historical Development of Soil and Weathering Profile Concepts from Europe to the United States of America. Soil Science Society of America Journal* 66:335-346.
- Viloria J., A. Jácome, G. Elizalde y L. Rangel.** 2001. Utilidad de la subdivisión de la depresión del lago de Valencia en unidades de paisaje para la correlación de suelos. *Agro. Tropical* 51 (3): 283-300.
- Zinck, A.** 1970. Aplicación de la geomorfología al levantamiento de suelos en zonas aluviales. M.O.P. Dir. Ob. Hidr. Div. Edaf. Barcelona. Venezuela. 105 PP.
- Zinck, A.** 1981. Definición del ambiente geomorfológico con fines de descripción de suelos. CIDIAT. Serie Suelos y Clima S.C. 46. Mérida. 114 p.
- Zinck, A.** 1988. Physiography and soils. ITC Lecture Note SOL.4.1. International Institute for Information Science and Earth Observation (ITC). Enschede, The Netherlands. 156 p.