

**APLICACIÓN DEL ENFOQUE GEOECOLÓGICO EN LA INTERPRETACIÓN DE  
LA ESTRUCTURA DEL PAISAJE VEGETAL. CASO DE ESTUDIO:  
GEOFACETA CUENCA DEL RÍO NAIGUATÁ**

**APPLICATION OF THE GEOECOLOGICAL APPROACH IN THE INTERPRETATION  
OF THE VEGETATION LANDSCAPE STRUCTURE. STUDY CASE:  
GEOFACET BASIN OF THE NAIGUATÁ RIVER**

*Rosa Anzola<sup>1</sup>, Carlos Monedero<sup>2</sup> y Antonio Vivas<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>CONICIT, Gerencia de Fomento y Desarrollo de Investigaciones Científicas,  
Coordinación de Apoyo Institucional, Edificio Maploca, Los Ruices, Apartado 70617, Caracas,  
Venezuela. Tf. (58-212) 2390433 - 2390577 - 2390066. E-mail: anzolar@cantv.net*

*<sup>2</sup>Centro de Estudios Integrales del Ambiente, Universidad Central de Venezuela,  
Calle Gil Fortoul, Quinta CENAM, Santa Mónica, Apartado Postal 17350, Caracas 1040,  
Venezuela. Tf/Fax (58-212) 6621029 - 6625938 E-mail: monedero@cantv.net*

*<sup>3</sup>Universidad Simón Bolívar, Departamento de Estudios Ambientales, Pabellón 2.  
Sartenejas, Baruta, Edo Miranda, Venezuela. Tf. (58-212) 9063038. E-mail: antvivas@usb.ve*

**RESUMEN**

Se abordó la interpretación geocológica de la estructura del paisaje, a partir de: (1) la integración en un sistema de información geográfica de los principales componentes ambientales que conforman el sistema geomorfológico de la geofaceta Cuenca del Río Naiguatá, (2) la interrelación con un modelo conceptual bioclimático de la disposición espacial de las formaciones vegetales potenciales en zonas montañosas tropicales. Se aplicó el concepto corológico de geofaceta a nivel de la cuenca como la unidad del paisaje, por su fácil delimitación y clara funcionalidad hidrológica. La interpretación geocológica de la estructura del paisaje se realizó de acuerdo a los siguientes criterios: efecto del gradiente altitudinal, proceso geodinámico de éste sistema montañoso, y a las diferencias encontradas entre el modelo de disposición de las formaciones vegetales potenciales y el mapa de la cobertura vegetal existente.

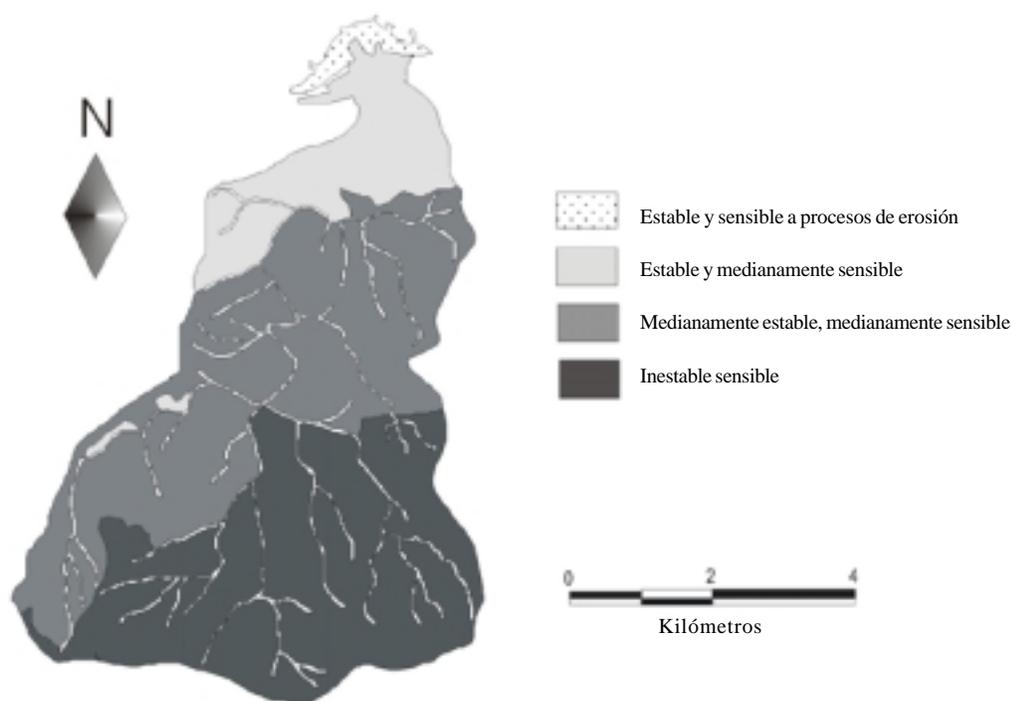
**Palabras clave:** Geocología, Ecología, paisaje, SIG, vegetación, cuenca, conservación, Venezuela

**ABSTRACT**

The geocological interpretation of landscape structure was approached from: (1) integration in a GIS of the main environmental components that conform the geomorphologic system of the geofacet basin of the Naiguatá River, (2) the interrelation with a bioclimatic conceptual model of the spatial distribution of the potential vegetal formations in mountainous tropical zones. The geofacet chorological concept was applied to the basin, considering it as a landscape unit because of its easy delimitation and its clear hydrological function. The geocological interpretation of the landscape structure was carried out according to the following criteria: effect of the altitudinal gradient, geodynamic process of this mountainous system, and the differences found between the model of potential vegetal formation distribution and the map of actual vegetation cover.

**Key words:** Geocology, Ecology, landscape, GIS, vegetation, basin, conservation, Venezuela

## INTERPRETACIÓN GEOECOLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO NAIGUATÁ



**Figura 1.** En la Geofaceta Cuenca Río Naiguatá se diferenciaron cuatro grandes sectores morfordinámicos: A, B, C, D, que expresan la funcionalidad abiótica del geosistema a nivel del criptosistema.

### INTRODUCCIÓN

El paisaje es un conjunto armonioso con morfología, estructura, ecología y espacialidad (Troll 1982). Haber (1984) concibe el paisaje como un sistema de fuerzas dentro de una determinada estructura espacial. Zonneveld (1989), basándose en Troll (Forman y Godron 1986), desarrolla la corología del paisaje, término utilizado por los geógrafos europeos del siglo XVIII, rescatado por Margalef (1974), Zink (1980) y Zonneveld (1988), que se define como el estudio sistemático multiescalar de la estructura horizontal del paisaje. El estudio integrado del paisaje implica el reconocimiento de su estructura, identificando las complejas relaciones espaciales y la dinámica de los distintos componentes que conforman los sistemas ambientales (Daubenmire 1988), lo cual facilita la interpretación del funcionamiento geocológico del paisaje (Tricart 1982, Bertrand 1993). Felicísimo (1994) indica que este conocimiento integral del paisaje es básico para la formulación de los modelos espaciales apropiados para explicar la complejidad del paisaje.

En la actualidad se están desarrollando estudios ambientales utilizando nuevos enfoques de integración espacial a fin de lograr la interpretación geocológica del paisaje (Tricart 1982). Para la aplicación de tal enfoque resulta de especial interés adaptar a nuestra geografía los conceptos y las experiencias adelantadas en otros países (Bolós 1981, 1992, Troll 1982, Forman y Godron 1986, Zonneveld y Forman 1989, Bertrand 1982, 1993, Ibarra 1993, Verdinelli 1994), basadas en la determinación de las relaciones espaciales existentes entre los principales componentes que conforman el paisaje como geosistema (clima, geología, geomorfología, topografía, hidrografía, suelo y vegetación). Para Bertrand (1982, 1993), el estudio de la cobertura vegetal es una realidad que integra más que ningún otro aspecto de la naturaleza, la totalidad del ambiente físico en un componente visible del paisaje, representando un componente clave como indicador ecológico a nivel del paisaje (Monedero 1996), revelador de las interacciones a través de su fisonomía, estructura y funcionamiento (Bejarano 1997). Dentro de éste enfoque integrador

destacan los estudios del paisaje vegetal, los cuales se han empleado en los trabajos de ordenación ecológica para definir las unidades de paisaje (Verdinelli 1994). Esta última aproximación ha sido propuesta por la escuela Sigmatista de Fitosociología (Rivas-Martínez 1976).

Tomando en cuenta lo anterior, en éste estudio se estableció como objetivo principal la interpretación geocológica de la estructura del paisaje vegetal, a partir de la integración en un sistema de información geográfica de los principales componentes ambientales que conforman el sistema geomorfológico de la Geofaceta Cuenca del Río Naiguatá, el cual se interrelacionó con un modelo conceptual de la disposición espacial de las formaciones vegetales potenciales en zonas montañosas tropicales.

## ÁREA DE ESTUDIO

La Serranía de el Ávila forma parte de la Cordillera del Caribe (González De Juana 1980), delimitada en la porción central y septentrional de Venezuela. Desde el punto de vista taxocorológico esta serranía esta conformada por dos geosistemas: vertiente norte y sur. Dentro del primero se reconoce y delimita la Geofaceta Cuenca del Río Naiguatá, caracterizada por contener el mayor gradiente altitudinal de la Cordillera de la Costa: 0 a 2.567 m s.n.m. En el presente estudio geocológico, a nivel de cuenca, se introduce el concepto corológico de geofaceta, como la unidad del paisaje definida por Bertrand (1992, 1993), por representar un componente del geosistema El Ávila, de fácil delimitación, la cual posee una clara funcionalidad hidrológica y gran utilidad práctica dentro de la ordenación y planificación ambiental del medio físico. La cuenca ocupa una superficie de 3.246 ha, pudiéndose demarcar dentro de las siguientes coordenadas geográficas: 10° 32' 34" y 10° 37' 30" latitud norte, 66° 43' 33" y 66° 47' 02" longitud oeste.

## METODOLOGÍA

Aplicando el enfoque geocológico, según González-Bernaldez (1981), se buscó interrelacionar la estructura del fenosistema, definido como el conjunto de componentes fácilmente perceptibles en forma de escena o paisaje: cobertura vegetal, a partir de su criptosistema, complemento de más difícil observación que proporciona la explicación requerida para comprender su funcionamiento y su

dinámica. El criptosistema de la Geofaceta Cuenca Río Naiguatá se abordó a través del estudio de la estructura del sistema geomorfológico (Anzola 1998).

Según Vareschi (1992) en el estudio de la cobertura vegetal existen dos posibles enfoques, el primero describe el medio físico y establece el tipo de cubierta característico del mismo, y el segundo coloca en primer plano a la cubierta vegetal y trata de sacar conclusiones acerca de su medio. El presente estudio, se guió bajo el primer enfoque, planteándose la siguiente hipótesis de trabajo: A partir de la integración en un sistema de información geográfica (SIG) de los principales componentes ambientales del medio físico que conforman el sistema geomorfológico del paisaje "criptosistema", es posible interpretar la disposición espacial de la cobertura vegetal "fenosistema", tomando como marco referencial el modelo conceptual bioclimático de las formaciones vegetales potenciales, ajustado a los sistemas montañosos tropicales.

El procedimiento empleado para lograr la interpretación geocológica de la estructura del paisaje se puede sintetizar y esquematizar de la siguiente manera:

1. A partir de las curvas de nivel (mapa base a escala 1:50.000 de la Cuenca del Río Naiguatá) se construyó un modelo de elevación del terreno (MET), previa digitalización de las curvas de nivel maestras para cada 200 m. A partir del MET se generan los modelos digitales del terreno (MDT) de hipsometría, pendiente y orientación. Para el modelado de la información espacial con base al Sistema de Información Geográfica (SIG) se utilizó el programa IDRISI (Versión 1 para Windows).

2. Aplicando la clasificación fisiográfica de Patton *et al.* (1978) se fotointerpretó la geomorfología del área de estudio a partir de las fotos aéreas a escala 1:25.000. Información a partir de la cual se analizó el balance morfodinámico y la estabilidad del medio físico a nivel de la Geofaceta Cuenca del Río Naiguatá.

3. Los modelos digitales del terreno (MDT) se solaparon con el mapa vectorial del balance morfodinámico, a fin de producir un mapa del sistema geomorfológico, en el cual se contemplan las relaciones espaciales entre las distintas unidades ambientales que conforman la estructura física del paisaje geocológico.

4. Para la interpretación geocológica del sistema geomorfológico de la Cuenca del Río

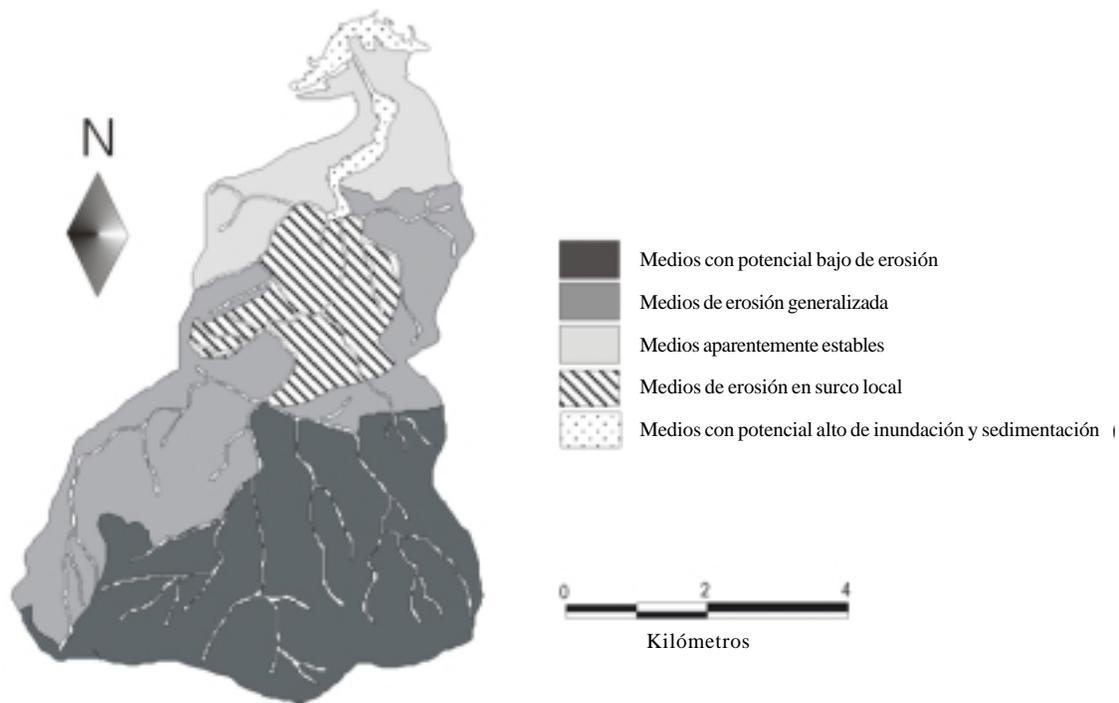
INTERPRETACIÓN GEOECOLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO NAIGUATÁ

**Tabla 1.** Sectorización del Medio Abiótico de la Geofaceta Cuenca del Río Naiguatá

Sectores	Geología	Balace Morfodinámico	Topografía	Orientación	Hipsometría m snm	Sensibilidad del Medio	
A	A1	Formación Peña de Mora Rocas Ígneas. Materiales muy duros	Medio con bajo potencial de erosión	Quebradas disectadas accidentadas	Norte Nordeste	2.460-2.565	Medianamente Estable Medianamente Sensible
	A2	Formación Peña de Mora Rocas Ígneas. Materiales muy duros	Medio con bajo potencial de erosión	Ligeramente quebradas. Quebradas disectadas accidentadas	Norte Nordeste Sudeste	2.200-2.460	Medianamente Estable Medianamente Sensible
	A3	Formación Peña de Mora Rocas Ígneas. Materiales muy duros	Medio con bajo potencial de erosión	Quebradas disectadas accidentadas	Norte Nordeste	800-2.200	Medianamente Estable Medianamente Sensible
B	B1	Formación Las Brisas Rocas Ígneas. Materiales duros	Erosión generalizada. Erosión en surco local	Quebradas accidentadas escarpadas	Norte Nordeste	500-800	Medianamente Estable Medianamente Sensible
	B2	Formación Las Brisas Rocas Ígneas. Materiales duros	Erosión generalizada	Quebradas accidentadas	Sur Sudeste Sudoeste	400-500	Inestable y Sensible
C	Formación Tacagua	Medios aparentemente estables	Quebradas disectadas	Norte Sudoeste	100-400	Estable Medianamente Sensible a los procesos de erosión	
D	Cuaternario. Presencia de rocas de distintos tamaños	Medios con alto potencial de inundación y sedimentación	Planas a ligeramente quebradas e inclinadas	Norte Nordeste	< 100	Estable y Sensible	

Naiguatá se concibió un modelo conceptual de la disposición espacial de las formaciones vegetales potenciales en zonas montañosas tropicales. Para la elaboración del modelo conceptual se acogió como marco de referencia el sistema bioclimático de las zonas de vida según Holdridge (1979), así como el modelo de la disposición altitudinal de las formaciones vegetales en la Región Capital de Venezuela (USB 1979). De ésta

manera, empleando el Mapa Ecológico de Venezuela de Ewel *et al.* (1976), para el caso de la Vertiente Norte de la Serranía de El Ávila (Cordillera de la Costa) se diferenciaron las siguientes zonas de vida para las distintas alturas sobre el mar (pisos o fajas altitudinales): matorral espinoso tropical, bosque seco premontano, bosque húmedo premontano, bosque húmedo montano bajo y bosque muy húmedo montano, páramo subalpino.



**Figura 2.** Desde el punto de vista morfológico se diferencian cinco grandes unidades: (1) medios con bajo potencial de erosión, (2) medios de erosión generalizada, (3) medios de erosión en surco local, (4) medios aparentemente estables, (5) medios con alto potencial de sedimentación e inundación

5. El modelo conceptual de la disposición espacial de las formaciones vegetales potenciales, interpretadas a partir del sistema geomorfológico, se compara con el mapa de la cobertura vegetal existente en la cuenca (mapa levantado a partir de los ortofotomapas a escala 1:25.000; tomando como referencia el mapa de cobertura vegetal actual de Venezuela del MARNR 1982). Para realizar la comparación del modelo con el mapa se construyó una matriz de doble entrada en la cual cada casilla expresa el número de celdas con el mismo tipo de cobertura (cada celda representa una superficie de 625 m<sup>2</sup>); dato a partir del cual se calcula el porcentaje de correspondencia.

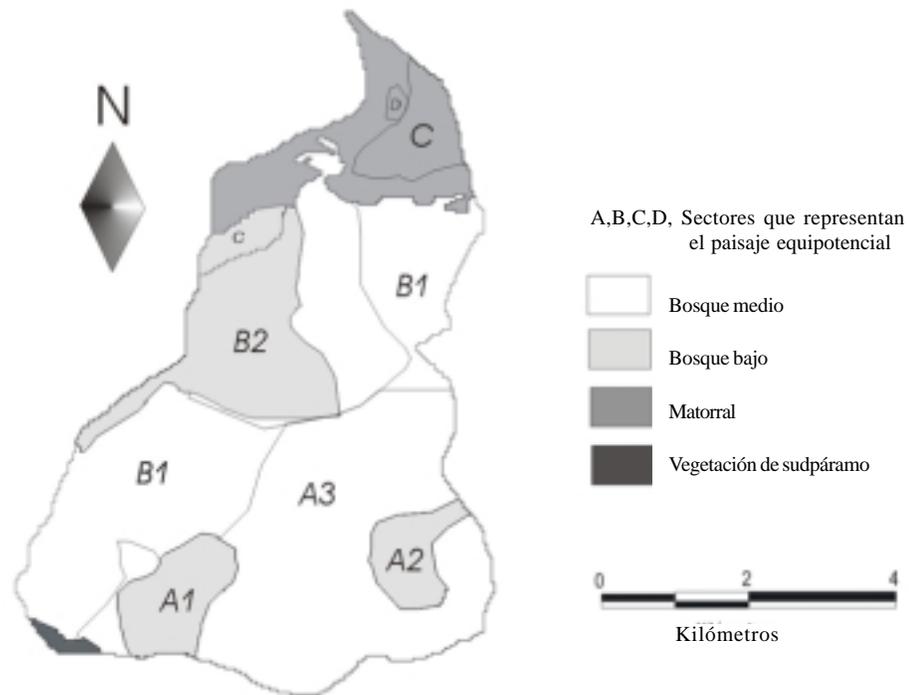
## RESULTADOS

En la Geofaceta Cuenca Río Naiguatá se diferenciaron cuatro grandes sectores morfológicos: A, B, C, D, que expresan la funcionalidad abiótica del geosistema a nivel del criptosistema (Figura 1),

cuyas características geológicas, geomorfológicas y topográficas se sintetizan en la Tabla 1. Geológicamente el Sector A se ubica sobre la Formación Peña de Mora, definida como un complejo ígneo-metamórfico, caracterizada por la dureza de sus materiales: gneis y granitos esquistosos (Holmes y Holmes 1980). El Sector B se ubica en gran parte sobre la Formación Las Brisas, tiene materiales más disgregados y menos duros, en esta formación se observa la presencia de un conjunto de fallas que se extienden hasta la Formación Tacagua donde se ubica el Sector C, formación que pertenece al Complejo Sebastopol, que contiene materiales aún más disgregados, y dispuestos secuencialmente en esquistos de rocas ultrabásicas y básicas. Por último se delimita el Sector D, ubicado sobre los depósitos cuaternarios de origen reciente, aluviones producto de la acumulación de detritos ígneos-metamórficos.

Dicha estructuración permitió una primera interpretación de la funcionalidad y dinámica del sistema geomorfológico. El Sector A, debido a su

## INTERPRETACIÓN GEOECOLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO NAIGUATÁ

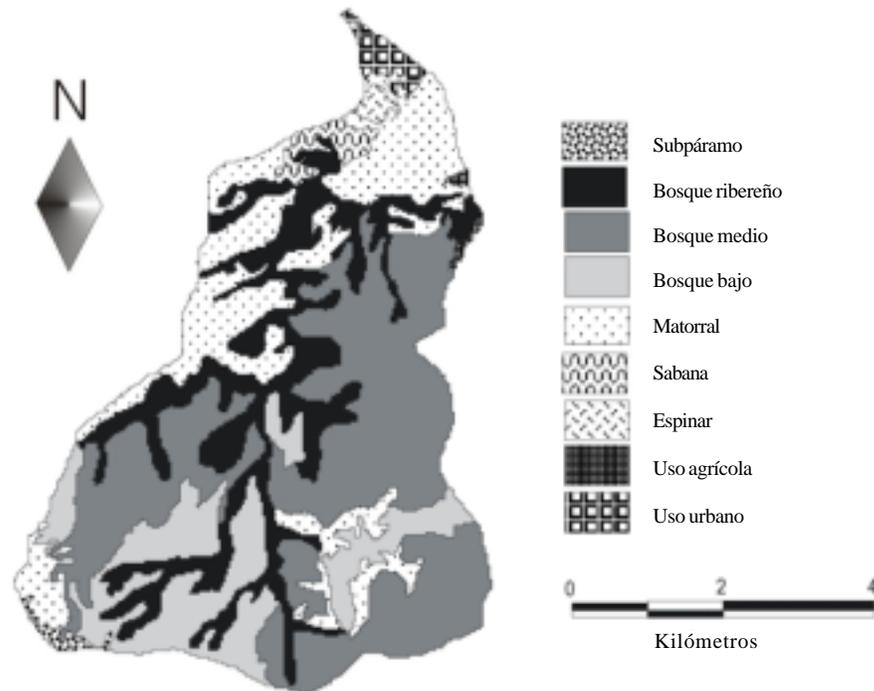


**Figura 3.** Conforme a la hipótesis de trabajo del estudio, se ubicaron y delimitaron las distintas formaciones vegetales potenciales, como un modelo bioclimático del fenosistema relacionado con los principales sectores diferenciados dentro del sistema geomorfológico y con los tipos de formaciones vegetales reportadas en la literatura para la Cordillera del Caribe. Se diferenciaron así grandes sectores: Sector A: A1.- Vegetación de Subpáramo, A2.- Bosque Bajo, A3.- Bosque Medio. Sector B: B1.- Bosque Medio y B2.- Bosque Bajo. Sector C y D caracterizados por la presencia de Matorrales.

gran superficie (58%), y como producto del proceso denudativo, genera un gran volumen de materiales y producen una concentración de flujo de materiales que al llegar al Sector B dan lugar al fenómeno de incisión. Las relaciones espaciales de naturaleza geológica y geomorfológica permitió explicar los procesos de erosión generalizada y en surco local presentes en el Sector B. Dentro del Sector se presenta una dinámica muy activa debido al control estructural originado por las interacciones entre los procesos tectónicos (Zosaza 1977). Por otro lado, las altas precipitaciones de origen orográficas que se presentan en dicho área posiblemente aceleran el proceso de transferencia de material hacia las áreas más bajas, explicando la presencia de las rocas y materiales gruesos en la planicie aluvial de desborde, que no proceden de la parte más alta de la cuenca (Sector A) sino del Sector B. Este proceso de transformación conlleva a un balance positivo muy activo, donde predominan las salidas de los distintos tipos de material rocoso hacia el

Sector C procedente de los sectores A y B, en el cual se presume un balance equilibrado entre la entrada y la salida de materiales. Estos se suman a la carga de los distintos tipos de materiales arrastrados por el río mediante el proceso de deslave, inundación y acumulación. La energía cinética del agua de escorrentía superficial, generada en los sectores más elevados (A y B), se disipa en el nivel más bajo, sector D, identificado como el lecho de inundación o abanico aluvial (cono de deyección), el cual se extiende dentro del Sector C a través de los lechos de inundación de los valles en forma de V y U, procedentes de las partes altas de la cuenca. Este sector representa así un medio terminal, caracterizado por su alto potencial para la inundación y sedimentación, en el cual convergen los materiales transportados desde los sectores superiores, definidos como medios de ablación.

El análisis del balance morfodinámico permitió precisar las agrupaciones susceptibles de acusar cambios que afectan la estabilidad del medio



**Figura 4.** Mapa digitalizado de la cobertura vegetación existente simplificado, el cual a través del sistema de información geográfica se contrasta con el modelo digitalizado de cobertura vegetal potencial.

físico (Passarge 1982). Desde el punto de vista morfodinámico se diferenciaron cinco unidades (Figura 2): (1) medios con bajo potencial de erosión, (2) medios de erosión generalizada, (3) medios de erosión en surco local, (4) medios aparentemente estables, (5) medios con alto potencial de sedimentación e inundación. Estos medios con distinto balance morfodinámico permiten sintetizar y explicar los procesos de formación del relieve y de transferencia vectorial característico de éste sistema montañoso.

Conforme a la hipótesis de trabajo del estudio, se ubicaron y delimitaron las distintas formaciones vegetales potenciales (Figura 3), como un modelo bioclimático del fenosistema relacionado con los principales sectores diferenciados dentro del sistema geomorfológico y con los tipos de formaciones vegetales reportadas en la literatura para la Cordillera del Caribe. Sector A: A1.- Vegetación de Subpáramo, presente en el extremo sudoeste, para cuya disposición resultó clave la altitud y su relación con el mesoclima (siguiendo el modelo bioclimático), A2.- Bosque Bajo, ubicado en dos polígonos situados en ambos superiores del Sector A, para cuya definición, fue determinante

la litología (rocas ácidas, afloramientos rocosos), A3.- Bosque Medio, ubicado al sudeste en la porción central, para definir esta unidad fue determinante la influencia de la orientación sobre el mesoclima. Sector B: B1.- Bosque Medio y B2.- Bosque Bajo. Sector C y D caracterizados por la presencia de Matorrales.

Los resultados anteriores, relativos al modelo de cobertura vegetal potencial: MCVP (Figura 3) para la Geofaceta Cuenca del Río Naiguatá, al compararse con el mapa de la cobertura vegetación existente: MCVE (Figura 4), arrojan las siguientes situaciones. El cruce entre el matorral del MCVP con los dos tipos de matorral del MCVE indican que existe un 65,4% de correspondencia; el 34% restante esta representado por el espinal ralo, la sabana y uso antrópico (áreas de cultivo y área urbana). El bosque bajo tiene un 29,3 % de correspondencia entre el MCVP y el MCVE, lo que se corresponde con los bosques bajos de la parte alta de la cuenca. El 70 % restante esta distribuido entre el matorral, el bosque ribereño y el bosque medio. Además, existe una correspondencia del bosque bajo del modelo potencial con el bosque ribereño de la

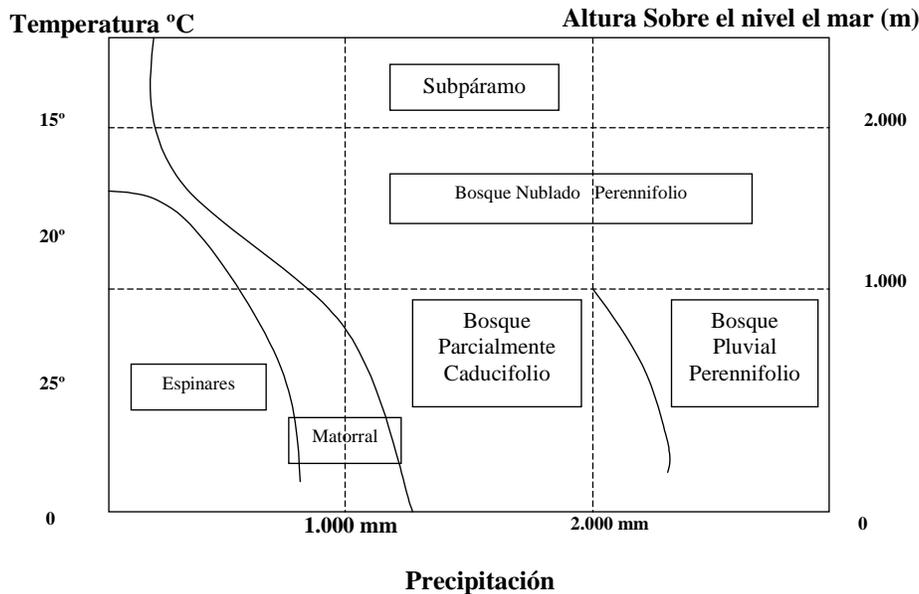
## INTERPRETACIÓN GEOECOLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO NAIGUATÁ

**Tabla 2.** Tabla sinóptica de los conceptos seleccionados en la interpretación geoecológica de la cobertura vegetal potencial en zonas montañosas tropicales aplicados en la Geofaceta Cuenca del Río Naiguatá

Estructura de los Parches de la Vegetación	Expresión	Origen o Causa
<b>Equipotencial</b>	Disposición de la cobertura vegetal en bandas horizontales o pisos altitudinales. El análisis de la disposición de la cobertura vegetal en la Geofaceta Cuenca del Río Naiguatá, refuerza el modelo hipotético de la zonalidad altitudinal de Holdridge.	Gradiente adiabático seco y húmedo que conlleva a una variación progresiva de la temperatura y la humedad con la altura sobre el nivel del mar en ecosistemas montañosos. Destaca la zona de condensación (formación de nubes orográficas) donde se presentan los bosques nublados.
<b>Vectorial</b>	El carácter vectorial de la estructura se acusa en las formaciones vegetales asociadas a los cursos de agua (Bosques de Galería). Parches de forma alargada y dendrítica, asociada a la red de drenaje, que desdibuja la zonificación de los pisos altitudinales de montaña, pudiéndose presentar de forma continua desde el nivel del mar hasta llegar a la línea de crestas (naciente de los cursos de agua), mezclándose en su recorrido con el bosque nublado.	Se presentan suelos con condiciones favorables para el crecimiento de la vegetación, derivadas del mayor aporte hídrico y de nutrientes proporcionados por los cursos de agua, y por la escorrentía superficial y subterránea, producto del lavado y la lixiviación de los suelos ubicados en las cotas superiores.  Nota: Cabe destacar que aún expresión fisionómica del bosque se mantenga a lo largo de los cursos de agua, no así su composición florística, la cual varía de forma continua a lo largo del gradiente altitudinal.
<b>Celular</b>	Disposición de la cobertura vegetal en manchas, parches que conforman un mosaico de distintas expresiones vegetales. Subdivisión de las zonas por condiciones mesoclimáticas de carácter azonal. La orientación y la pendiente de las laderas ejercen un efecto importante sobre la estructura y la dinámica de los bosques, incorporando cierto carácter celular dentro de la zonalidad altitudinal de la cobertura vegetal.	Este carácter celular se puede apreciar, al tener presenta la <b>orientación de las laderas</b> , las áreas ubicadas en las umbrías (laderas orientadas hacia el este) con respecto a las solanas (laderas orientadas hacia el oeste), debido al efecto diferencial de la insolación y de la evapotranspiración a lo largo del día tanto en la fenología (deciduo o siempreverde), como en la expresión dendrológica (altura y densidad del dosel) de los bosques.  La <b>pendiente</b> , a través de su efecto sobre la infiltración, la escorrentía y finalmente en la erosión del suelo, explica la presencia de suelos poco desarrollados y evolucionados (inseptisoles y entisoles), y en casos extremos a la exposición de la roca madre. Además, en el caso de presentarse lluvias torrenciales intensas sobre suelos saturados con agua, la posibilidad de que los movimientos en masa arrastren la cubierta vegetal esta estrechamente relacionada con la pendiente, lo cual propicia la apertura de claros “gap” dentro de las formaciones vegetales, desencadenándose la dinámica autoregenerativa de la vegetación, y de la “silvigénesis” en el caso del bosque. Lo cual explicaría la alta heterogeneidad de los bosque tropicales húmedos de montaña, y en especial del bosque o selva nublada tropical, incrementando así el carácter celular dentro de la zonalidad altitudinal.

cobertura vegetal actual. El matorral ubicado en el extremo superior izquierdo del mapa de cobertura vegetal existente, se interpreta como una etapa seral del bosque medio y no como un bosque bajo, tal como se predeciría a partir de la información disponible en el modelo. El bosque medio posee un 71,6% de correspondencia entre la MCVP y el

MCVE. En el 28,4% restante se presentan matorrales (ubicados en las partes altas de la cuenca) y bosques ribereños. De acuerdo al análisis espacial se corrobora que la presencia de este matorral se debe al afloramiento rocoso. En el caso de la vegetación de subpáramo se obtuvo un 48% de correspondencia entre la MCVP y el MCVE.



**Figura 5.** Modelo Bioclimático de la disposición altitudinal de las formaciones vegetales en la Región Capital (USB 1989)

El 52% restante es referido a matorrales (que representan una gradación de la cobertura vegetal dependiente del gradiente altitudinal) y al afloramiento rocoso característico del área.

## DISCUSIÓN

En función a los conceptos geocológicos seleccionados para el estudio de la cobertura vegetal potencial en la Geofaceta Cuenca del Río Naiguatá (Tabla 2), los resultados obtenidos se abordaron con base a los siguientes criterios: (1) a la disposición espacial de las formaciones vegetales potenciales a lo largo del gradiente altitudinal, (2) al proceso geodinámico característico de éste sistema montañoso, y (3) en función a las principales diferencias encontradas entre el MCVP y MCVE derivadas del efecto antrópico. Criterios a partir de los cuales se logró diferenciar e interpretar la siguiente estructura del paisaje:

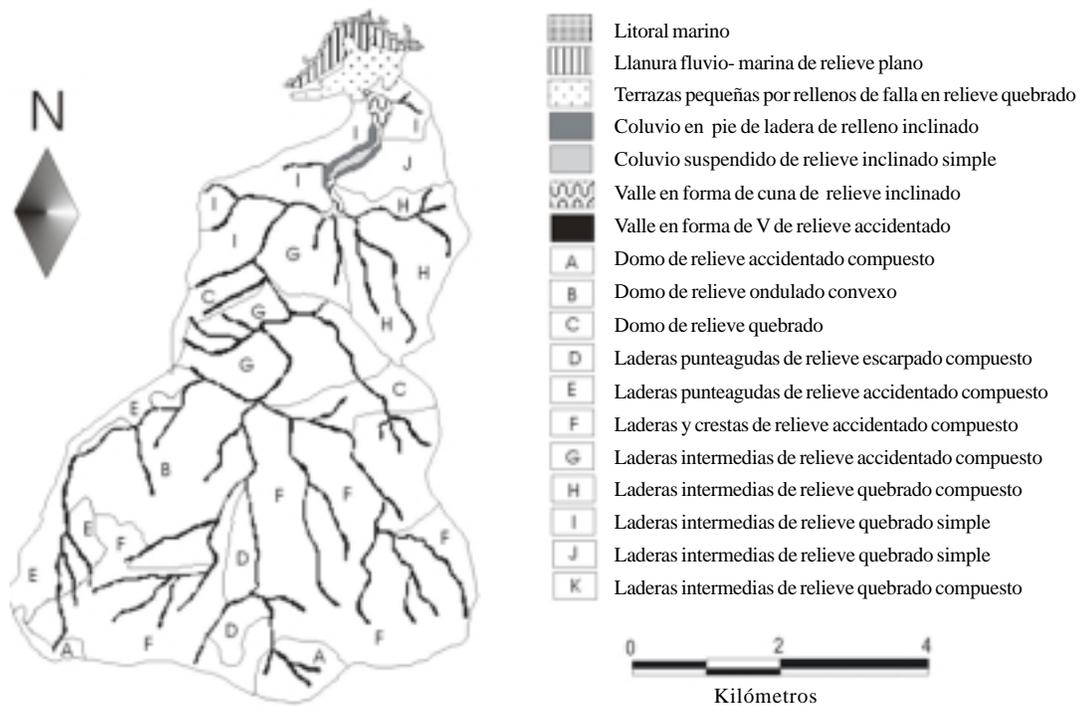
### I. Estructura Equipotencial: Zonificación de la Cobertura Vegetal

Al considerar el sistema bioclimático de Holdridge (1979), empleando el Mapa Ecológico de Venezuela de Ewel *et al.* (1976), y las referencias bibliográficas relativas a la disposición

de las formaciones vegetales potenciales en zonas montañosas tropicales (Beebe y Crane 1947, 1948, Schäfer 1953), se evidencia la disposición espacial de la vegetación en zonas o fajas altitudinales. De ésta manera se comprueba que las condiciones ambientales del geosistema montañoso tropical Parque Nacional Henri Pittier, ubicado en otra sección de la Cordillera del Caribe, son similares a las de la Geofaceta Cuenca del Río Naiguatá del Parque Nacional El Ávila. Sin embargo, se pudo apreciar algunas diferencias en cuanto a los rangos altitudinales de los distintos pisos de vegetación. Esta relación de la vegetación tropical con el clima para el tramo central de la Cordillera del Caribe (Figura 5) fue modelada en el Estudio de la Vegetación de la Región Capital (USB 1979).

Al tomar como referencia el sistema bioclimático de Holdridge (1979), así como el modelo elaborado para el tramo central de la Cordillera del Caribe en el Estudio de la Vegetación de la Región Capital (USB 1979), se reconoce la importancia de la vegetación en la estructuración de las formas, tal como fue destacado por Bertrand (1982). Rivas-Martínez (1976) en sus estudios del paisaje vegetal, define la cobertura vegetal potencial como aquellas comunidades que se corresponden ecológicamente a un territorio homogéneo, que se encuentran en su máximo biológico estable, por lo

## INTERPRETACIÓN GEOECOLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO NAIGUATÁ



**Figura 5.** Para la interpretación de la funcionalidad geoeológica en la Geofaceta Cuenca del Río Naiguatá, resulta de especial importancia el conocimiento y la representación espacial del sistema geomorfológico.

tanto, en armonía con todos los factores ecológicos del medio, manteniéndose invariables por tiempo indefinido. Bertrand (1982) plantea que un geosistema responde a un potencial ecológico, el cual define como la plasticidad ecológica en el cual un organismo puede soportar variaciones en los factores ambientales (clima, geología, geomorfología, topografía, red hidrográfica, acción antrópica), y que responde a una explotación biológica (vegetación, suelo, fauna). Patton *et al.* (1978) definen la cobertura vegetal potencial como la estimación de la disposición espacial de la vegetación natural, la cual se puede obtener de la integración e interpretación y modelado de los principales componentes ambientales: clima, geología, geomorfología y topografía.

A partir de los resultados obtenidos en éste estudio se puede apreciar la predominancia de una estructura equipotencial del paisaje, cuya asociación con la zonificación de la cobertura vegetal se podría precisar de la siguiente manera:

1. Se puede diferenciar una marcada estructura equipotencial a lo largo del gradiente altitudinal como respuesta a la variación gradual

de las condiciones ambientales, lo cual manifiesta una estructuración del fenosistema (González-Bernáldez 1981) que se expresa a través de la disposición en pisos o fajas altitudinales de las formaciones vegetales y de forma menos evidente, como criptosistema en la ubicación de las zonas de ablación y de acumulación.

2. La disposición espacial de la cobertura vegetal natural presente en el Geosistema de la Serranía del Ávila esta determinada principalmente por las condiciones meteorológicas derivadas del mesoclima de montaña, donde el gradiente adiabático seco y húmedo origina cambios en la temperatura, en la humedad atmosférica y en la precipitación, desde el nivel del mar hasta su máxima altura (pico Naiguatá a 2.675 m snm).

3. Desde el punto de vista funcional la interpretación geoeológica de las formaciones vegetales dentro del geoeosistema montañoso tropical, es proporcionada por Beard (1944, 1955) y Grubb (1977), quienes encuentran que los bosques tropicales a medida que se asciende en altitud sobre el nivel del mar, y como un efecto de los cambios en las condiciones ambientales, acusan

una simplificación fisionómica (reducción del número de estratos arbóreos, tamaño de las hojas), estructural (densidad y altura del dosel y de árboles emergentes) y florística (número de especies arbóreas), haciéndose progresivamente menos complejos, en comparación con el bosque tropical lluvioso descrito por Richards (1936). Tales diferencias también son reconocidas dentro del gradiente altitudinal de Rancho Grande ubicado en la Serranía Litoral de la Cordillera de La Costa (Huber 1986), lo cual se aprecia en la clasificación de Beebe y Crane (1947, 1948) quienes diferencian Zonas Ecológicas, y de Schaefer (1953), quien distingue Comunidades Bióticas a lo largo del gradiente altitudinal.

Al margen de la existencia de un cierto determinismo climático, al comparar el modelo con el mapa de la vegetación existente se reconoce la presencia de “vegetación extrazonal” (calificativo establecido por Ellenberg 1978, en Naveh y Lieberman 1994) en respuesta a las características geomorfológicas relativas al balance morfodinámico y a la estabilidad del medio físico, vinculadas a su vez con las características geológicas, topográficas locales (hipsometría, pendiente y orientación) e hidrológicas (cursos de agua).

## **II. Estructura Vectorial: Transferencia unidireccional de materia**

Por otro lado, la Geofaceta del Río Naiguatá, como componente del geosistema montañoso Serranía del Ávila, está caracterizada por una importante actividad tectónica, con fuertes pendientes expuestas en distintas orientaciones, lo cual implica un régimen geomorfológico muy activo. El funcionamiento vectorial con transferencia unidireccional de materia se manifiesta a lo largo de los distintos tipos de drenaje reconocidos en las laderas. El carácter vectorial de la estructura se acusa en las formaciones vegetales asociadas a los cursos de agua (Bosques de Galería). Parches de forma alargada y dendrítica, asociada a la red de drenaje, que desdibuja la zonificación de los pisos altitudinales de montaña, pudiéndose presentar de forma continua desde el nivel del mar hasta llegar a la línea de crestas (naciente de los cursos de agua), mezclándose en su recorrido con el bosque nublado. Estos parches alargados definidos por los bosques de galería tienen una gran importancia geocológica por representar corredores ecológicos que facilitan la movilización y comunicación de la

fauna, e incluso actúan como áreas de refugio durante los periodos de sequía extrema.

Con el modelo digital del terreno y el modelo teórico de cobertura vegetal potencial fue posible explicar la dinámica espacial descendente (pautas de laderas) del transporte de los materiales desde los sectores altos hasta los sectores bajos. Para la interpretación de la funcionalidad geocológica del sistema geomorfológico en la Geofaceta Cuenca del Río Naiguatá (Figura 6) como criptosistema, resultó de especial importancia el empleo de la topografía y el balance morfodinámico, lo cual fue efectuado a través de la definición de los distintos tipos de medios en función de su grado de estabilidad morfodinámica; enfoque aplicado por Tricart (1982) y Zinck (1980), quienes destacan a la geomorfología como eje fundamental en el estudio integrado del medio natural. Wondzell *et al.* (1996) plantean que los procesos geomorfológicos son regulados por la estructura geológica y lo accidentado del relieve topográfico y su dinámica espacial. De ésta manera el análisis del sistema geomorfológico se inicia con la integración funcional de las distintas unidades en dos grandes unidades funcionales: la de ablación (que predomina en la cuenca) y la de acumulación. La unidad de ablación integra un conjunto de unidades geomorfológicas con diferentes formas de relieve, cuyo origen y evolución se vinculan con el basamento litológico y a los movimientos tectónicos ocurridos en la Cordillera. Esta unidad de ablación fue sometida a un desgaste erosivo muy activo en el pasado (Zosaza 1977), lo cual se refleja en la presencia de vertientes largas con valles estrechos muy profundos de carácter torrencial. Dentro de la unidad de ablación se han diferenciado dos subsistemas morfogenéticos: (1) El subsistema morfogenético de cordillera primaria correspondiente a las laderas de mayor altitud y menos desgaste geológico (lo cual evidencia su evolución primaria, y explica que la escorrentía en éstas áreas sea acelerada con baja infiltración). Este subsistema comprende las laderas y crestas primarias de relieve accidentado compuesto, laderas y crestas puntiagudas de relieve escarpado compuesto, y domos de relieves ondulado y accidentados (Figura 6). (2) El subsistema morfogenético de desprendimiento de vertiente, el cual incluye áreas que por movimientos tectónicos bruscos descendieron y conformaron laderas con un mayor entalle de los valles estrechos (la escorrentía también es elevada). Este subsistema comprende

las laderas intermedias compuestas de relieve inclinado, quebrado y disectado (Figura 6). Dentro de la unidad de acumulación, las geoformas se corresponden con áreas cuyo origen ha sido posterior a la formación o elevación de la Serranía del Litoral Central de la Cordillera del Caribe, y están constituidas por materiales transportados por la acción hídrica a lo largo de las pendientes, aportados durante la degradación de la montaña primaria (Zosaza 1977). En algunos casos las acumulaciones de sedimentos han sido progresivas, y en otras han sido bruscas; tal como aconteció en el Litoral Central por efecto de las lluvias torrenciales caídas en diciembre de 1999 (PNUD-CAF 2000); con la consecuente pérdida o ganancia de materiales dentro de estos medios de acumulación. Esta unidad esta conformada por cuatro subsistemas. (1) Subsistema morfogenético de aportes laterales formadas por coluvión, ubicadas en las partes altas e intermedias al pie de la ladera inferior de relieve ligeramente quebrado, y agrupa también coluvios suspendidos de relieve inclinado simple (Figura 6). (2) Subsistema morfogenético de valles estrechos en forma de V y de U, los cuales poseen una longitud de 29,5 km. (3) Subsistema de planicie fluvio marina (abanico aluvial o cono de deyección); sobre la cual se extiende la población de Naiguatá. En éste subsistema se depositan los sedimentos procedentes de la unidad de ablación, trasportados por los cursos de agua. (4) Subsistema litoral marino (área urbana).

### III. Estructura Celular: Parches y Mosaicos

La Estructura Celular se refiere a la disposición de la cobertura vegetal en manchas, parches que conforman un mosaico de distintas expresiones vegetales (González-Bernáldez 1981). En esta conformación de mosaicos, no se pudo reconocer un efecto significativo de la orientación de las laderas. Por otro lado, en la aparición de parches y como un fenómeno de fragmentación del paisaje, cobró gran importancia las actividades antrópicas que históricamente han afectado esta área natural protegida. Estas actividades son de dos tipos: uso agrícola y uso urbano ubicadas en las áreas de montaña baja. Para Bertrand (1982) el efecto de la acción antrópica sobre el potencial ecológico y la explotación biológica puede desestabilizar el geosistema por el uso indiscriminado de los recursos presentes en un medio natural que necesariamente se debe evaluar a través de un modelo potencial de cobertura

vegetal o un estudio multitemporal entre otros.

Al margen del origen antrópico, se tuvo presente la existencia de una fragmentación de la cobertura vegetal de origen natural, la cual forma parte estructural de la dinámica del paisaje vegetal en la Serranía del Ávila, dado que con cierta periodicidad se desencadena un proceso de sucesión ecológica de la vegetación, a partir de la formación de parches por efecto de los grandes movimientos en masa, la erosión encauzada y la sedimentación generada por los grandes volúmenes de aluviones de sedimentos originados por el efecto de las lluvias torrenciales. Precipitaciones excepcionales consideradas como un fenómeno natural que responden a situaciones de inestabilidad climática que se han producido y documentado en el Litoral Central de forma recurrente desde tiempos históricos (se infiere se presentan desde tiempos prehistóricos), lo cual ha propiciado la generación de aludes torrenciales; como los acontecidos en diciembre de 1999 (PNUD-CAF 2000). Dadas las características de éste sistema geomorfológico, caracterizado por una topografía abrupta, con fuertes pendientes, recorridas por múltiples quebradas y torrentes, estos aludes torrenciales pueden actuar ocasionalmente como ríos torrenciales de gran caudal y poder erosivo, representando así un agente modelador del relieve de gran significado ecológico dentro del geosistema.

Para ilustrar la funcionalidad vectorial característica de la estructura del sistema geomorfológico, referida en el apartado anterior, a través de su efecto en la fragmentación y dinámica del paisaje, resulta oportuno incluir algunos de los datos preliminares levantados a partir de las imágenes de satélite, en relación con los impactos causados por las lluvias torrenciales acontecidas en diciembre de 1999. En el caso de la Cuenca del Río Naiguatá se afectó una superficie aproximada del 7,7%. A nivel de las 22 cuencas afectadas en la vertiente norte de la Serranía El Ávila el 89% de la superficie afectada se ubicó entre los 0 a 500 m snm. El 43% de la afectación se ubicó en áreas con baja pendiente: 0-10% (principalmente por el efecto de la sedimentación en abanicos aluviales), las zonas con una pendiente del 10-30% fue afectada en un 21%, las de mayor pendiente entre 30-60% acusaron un porcentaje de afectación del 31%, producto de los numerosos deslizamientos y movimientos en masa, y las áreas con pendientes > 60% representaron un 5% de la superficie; en éste último caso el número de deslizamientos fue

menor pero los parches resultaron de mayor tamaño. Se acusó una afectación principalmente del bosque denso (53% de la vegetación natural afectada); tipo de formación característica de los bosques de galería ubicados a lo largo de los cursos de agua y del bosque nublado situado en las zonas altas de mayor pendiente.

Como conclusión final se puede señalar que el estudio de la estructura del paisaje a nivel de cuenca como geofaceta, proporciona una interpretación geoecológica del geosistema montañoso que facilita la comprensión de su funcionalidad y dinámica. Enfoque corológico y holístico de gran utilidad para sentar las bases de una planificación del Parque Nacional El Ávila con criterio de sustentabilidad ambiental; donde la cuenca, como geofaceta, representaría la unidad básica para su ordenación y manejo.

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece al CONICIT (Proyecto S1-95000570) y al CDCH-UCV (21-00-3414-95), por el soporte financiero proporcionado al desarrollo de la presente investigación, realizada en el Laboratorio de Geoecología del CENAMB-UCV. Un agradecimiento especial a la Lic. Mylene Gutiérrez por todo su apoyo técnico.

### LITERATURA CITADA

- ANZOLA, R. 1998. Estudio Ecológico del Paisaje con un Sistema de Información Geográfico: Cuenca del Río Naiguatá. Tesis de Maestría. Universidad Simón Bolívar, Caracas.
- BEARD, J. S. 1944. Climax Vegetation in Tropical America. *Ecology* 25: 127-158.
- BEARD, J. S. 1955. The Classification of Tropical American Vegetation-Types. *Ecology* 36: 89-100.
- BEJARANO, R. 1997. El Análisis de la Vegetación como Criterio de Interpretación del Paisaje. *Estudios Geográficos LVIII* (226):5-31.
- BEEBE, W. y J. CRANE. 1947. Ecology of Rancho Grande, a subtropical cloud forest in Norther Venezuela. *Zoologica* 32 (5):43-60.
- BEEBE, W. y J. CRANE. 1948. Ecología de Rancho Grande, una selva nublada subtropical en el norte de Venezuela. *Boletín de la Soiedad Venezolana de Ciencias Naturales* 11 (73): 217-258.
- BERTRAND, G. 1982. Paisaje y Geografía Física Global. Pp 470-484, in Gómez, J., J. Muñoz y N. Ortega (Eds.): *El Pensamiento Geográfico*. Editorial Alianza, Madrid.
- BERTRAND, G. 1993. El Geosistema y la Autoorganización de la Geografía. *Cuadernos de Geografía IV* (1-2): 1-50
- BOLÓS, M. 1981. Problemática actual de los estudios de paisaje integrado. *Revista de Geografía XV* (1-2): 45-67.
- BOLÓS, M. 1992. Manual de Ciencias del paisaje. Teoría, métodos y aplicaciones. Editorial Masson, Paris.
- DAUNBERNMIRE, R. 1988. Ecología Vegetal. Tratado de Autoecología de Plantas. Editorial Limusa. México.
- EWEL, J.J., A. MADRIZ y J.A. TOSI. 1976. Zonas de Vida de Venezuela. MAC-FONAIAP, Caracas.
- FELICÍSIMO, A. 1994. Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicaciones en las Ciencias Ambientales. Pentalfa, Oviedo, España.
- FORMAN, R. y M. GODRON. 1986. Landscape Ecology. Editorial Wiley John & Sons, New York.
- GONZÁLEZ-BERNÁLDEZ, F. 1981. Ecología y Paisaje. Ediciones Blume, Madrid.
- GONZÁLEZ DE JUANA, C. 1980. Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas. Ediciones Foninves. Caracas.
- GRUBB, P.J. 1977. Control of forest growth and distribution on wet tropical mountains: with special reference to mineral nutrition. *Annual Review of Ecology and Systematics* 8: 83-107.
- HABER, W. 1984. Using Landscape Ecology in Planning and Management. En: Zonnerved, I and Forman, R. 1989. (Eds.), *Changing Landscapes. An Ecological Perspective*. Springer Verlag, New York.
- HOLDRIDGE, L.R. 1979. Ecología basada en zonas de vida. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica.
- HOLMES, A. y D. HOLMES. 1980. Geografía Física. Editorial Omega, Barcelona, España.
- HUBER, O. 1986. Las Selvas Nubladas de Rancho Grande Observaciones sobre su fisionomía, estructura y fenología. In Huber, O. (ed): *La Selva Nublada de Rancho Grande. Parque Nacional "Henri Pittier"*. Fondo Editorial Acta Científica, Caracas.
- IBARRA, P. 1993. Una propuesta metodológica para el estudio del paisaje integrado. *Geographialia* 30: 229-242.
- MARGALEF, R. 1974. Ecología. Ediciones Omega, Barcelona, España
- MARNR. 1982. Sistemas Ambientales Venezolanos. Mapa de la Vegetación Actual de Venezuela. Proyecto Ven/79/001.
- MONEDERO, C. 1996. Esquema operativo de evaluación ecológica empleando la vegetación como componente ambiental clave con referencia especial al caso Venezolano. *Interciencia* 21 (4):208-215.
- NAVEH, Z. and A.S. LIEBERMAN. 1994. Landscape ecology. Theory and Application. Springer Verlag. 2<sup>nd</sup>. Ed., New York.
- PASSARGE, S. 1982. Morfología de zonas climáticas o morfología del paisaje. Pp. 377-375, in Gómez, J.,

## INTERPRETACIÓN GEOECOLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO NAIGUATÁ

- Muñoz, J. y Ortega, N. (eds.): El pensamiento geográfico. Editorial Alianza, Madrid.
- PATTON, C., C. ALEXANDER y F. KRAMER. 1978. Curso de Geografía Física. Ediciones Vicens, Barcelona, España.
- PNUD-CAF. 2000. Efecto de las lluvias caídas en Venezuela en diciembre de 1999. CDB Publicaciones, Caracas.
- RICHARDS, P. W. 1936. Ecological observations on the rain forest of Mount Duilt, Sarawak. *Journal of Ecology* 24: 1-37.
- RIVAS-MARTÍNEZ. 1976. Sinfitosociología, una nueva metodología para el estudio del paisaje vegetal. *Anal. Instituto Botánico. Cavanilles* 33:1979-1988.
- SCHÄEFER, E. 1953. Estudio bio-ecológico comparativo sobre algunos Cracidae del Norte y Centro de Venezuela. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales* 15 (80): 30-63.
- TRICART, J. 1982. El análisis de sistemas y el estudio integrado del medio natural. Pp 470-484, *in* Gómez, J., J. Muñoz y N. Ortega (eds.): El Pensamiento Geográfico. Editorial Alianza, Madrid.
- TROLL C. 1982. El paisaje geográfico y su investigación. Pp. 323-329, *in* Muñoz, J. y N. Ortega (eds.): El Pensamiento Geográfico. Editorial Alianza, Madrid.
- USB 1979. Estudios de los Espacios Abiertos de la Región Capital. Vol. I Vegetación. Lluberes, P. (Coord.) Instituto de Estudios Regionales y Urbanos (IERU). Universidad Simón Bolívar, Caracas.
- VARESCHI, V. 1992. Ecología de la vegetación Tropical. Edición Especial de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales, Caracas.
- VERDINELLI, G. 1994. Definición de unidades espaciales para el Ordenamiento Ecológico. *Jalna* 5 (1): 8-9.
- WONDZELL, S., G. CUNNINGHAM y D. BACHELET. 1996. Relationship between landforms, geomorphic processes, and plant communities on a watershed in the northern Chihuahuan Desert. *Landscape Ecology* 6(11): 351-362.
- ZINCK, A. 1980. Definición del Ambiente Geomorfológico con Fines de Descripción de Suelos. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela.
- ZONNEVELD, I. 1988. Landscape ecology and its application. Pp. 1-15, *in* Moos, M. (ed.): Landscape Ecology and Management. Polyscience Incorporated Publications, Canada.
- ZONNEVELD, I. 1989. Scope and concepts of landscape ecology as an emerging science. *in* Zonneveld I. y R. Forman (eds.): Changing Landscape an Ecological Perspective. Springer Verlag, New York.
- ZONNEVELD, I. y R. FORMAN. 1989. Changing Landscape an Ecological Perspective. Springer Verlag, Nee York.
- ZOSAZA, D. 1977. La Industria Minera en Venezuela. Situación y Perspectiva para el Desarrollo Nacional. Ministerio de Energía y Minas, Caracas.

---

Recibido 03 de noviembre de 1999; revisado 08 de junio de 2000; aceptado 18 de septiembre de 2001