

MODELO DE LA COBERTURA VEGETAL POTENCIAL DEL GEOSISTEMA ÁVILA (PARQUE NACIONAL)

POTENTIAL VEGETAL COVER MODEL OF THE AVILA GEOSYSTEM (NATIONAL PARK)

Carlos Monedero y Mylene Gutiérrez

Centro de Estudios Integrales del Ambiente (CENAMB). Universidad Central de Venezuela. Caracas 1040.
Venezuela. E-mail: monedero@cantv.net; mygutier@rect.ucv.ve

RESUMEN

Dada la relación que se presenta entre la disposición espacial de la cobertura vegetal y la topografía en los geosistemas montañosos, se abordó un estudio integrado del paisaje interpretando el modelo de cobertura vegetal potencial, generado fundamentalmente a partir de la combinación de distintos modelos digitales del terreno. En un primer nivel de análisis se explora la relación de la cobertura vegetal con la topografía. En un segundo nivel de análisis, se definen tres modelos espaciales básicos asociados a la estructura del paisaje vegetal: zonal o equipotencial, azonal o celular y extrazonal o vectorial. Al combinar estos tres patrones espaciales se obtiene un modelo integrado de la estructura fisiográfica del geosistema El Ávila, que dio lugar a la conformación del modelo de cobertura vegetal potencial (MCVP). Finalmente se estableció el grado de asociación entre el mapa de cobertura vegetal actual y el MCVP obtenido a partir de la interrelación de los principales componentes del medio físico, desarrollados y manipulados con herramientas que proveen los sistemas de información geográfica (SIG).

ABSTRACT

Given the relationship presented between the spatial disposition of the vegetal cover and topography in the mountain geosystems, it was entered upon a landscape integrated study interpreting the model of potential vegetal cover, generated mainly for the combination of various digital models of the terrain in the exploration of relations and associations to the geomorphologic factor. In a first level of analysis, it was explored the relation of the vegetal cover with the topography. In a second level of analysis, were defined three basic spatial models associated with the structure of the vegetal landscape: zonal or equipotential, azonal or cellular and extrazonal or vectorial. By combining these three spatial patterns it was obtained an integrated model of the El Ávila geosystem physiographic structure that produced the conformation of the model of potential vegetal cover (MPVC). Finally it was established the association degree between the map of the actual vegetal cover and the MPVC obtained from the relationship of the principal components of the physical media, developed and manipulated with the tools provided by the geographic information systems (GIS).

Palabras Clave: Geoecología. Geosistema. Cobertura Vegetal. SIG. Modelos Digitales del Terreno.
Keywords: Geoecology. Geosystem. Vegetal Cover. GIS. Terrain Digital Models.

INTRODUCCIÓN

A través del empleo de herramientas automatizadas se hace posible instrumentar un enfoque metodológico de carácter sistémico, que permite la integración de los subsistemas abiótico, biótico y antrópico. Enfoque que incide de manera diferencial en la identificación de las pautas reiterativas presentes en el paisaje (Bertrand 1968; González-Bernáldez 1981; De Agar et al. 1995). Diversos estudios sugieren que es posible predecir el patrón del paisaje con pocas variables (Turner y Gardner 1990). Por esta razón, se plantea la integración de los mapas temáticos y modelos digitales del terreno (MDT), a través de

herramientas y métodos de análisis espacial aplicados con los SIG (Schneider y Robbins 1995), a fin de describir e interpretar los procesos formadores de los patrones espaciales. La construcción de MDT se emplea fundamentalmente para predecir propiedades que se asocian al territorio, partiendo de datos conocidos como un mapa topográfico, que proceden de la medición del objeto real, generando así información derivada que refleja propiedades distintas a las registradas, tales como curvatura, sombreado, etc. Los modelos derivados contienen características morfológicas simples, tales como los modelos digitales de pendientes y orientación de laderas. Estos permiten la simulación de procesos, basados

en principios físicos de los fenómenos asociados a las propiedades del terreno: clima local o mesoclima, procesos geomorfológicos (Wondzell et al. 1996; Berroterán 1998; Monjeau et al. 1998) y edáficos, flujos de agua, relaciones biológicas espaciales asociadas al territorio (Bolstad et al. 1998). Por lo tanto, el tratamiento de la información cartográfica con medios automatizados resulta fundamental, destacando los MDT, los cuales permiten abordar situaciones en las que resulta muy difícil el uso de los métodos convencionales empleados en los estudios ambientales del espacio geográfico (Barrio et al. 1997).

A partir del enfoque metodológico descrito, se formuló la siguiente hipótesis de trabajo: *“El análisis espacial del paisaje, mediante un SIG que integre un número reducido de variables topográficas, permite abordar la interpretación geoecológica de un modelo general de la cobertura vegetal potencial en áreas naturales montañosas tropicales, lo cual facilita la comprensión e interpretación de los agentes y procesos formadores de las pautas reiterativas del paisaje vegetal”*.

La relación de la cobertura vegetal con la geomorfología es un tópico ampliamente abordado en la literatura. Wondzell et al. (1996) destacan la estrecha relación de las comunidades vegetales con las superficies geomorfológicas, como resultado de las diferencias en la redistribución del agua y la materia orgánica en las distintas formas del terreno presentes en el área de estudio. Barrio et al. (1997) presentan un método en el cual se introduce un modelo de la distribución de las unidades del terreno (integrando datos de la vegetación, suelo y formas del terreno) usando un SIG soportado en el manejo de las variables topográficas (derivadas de un modelo de elevación del terreno). Monjeau et al. (1998) estudiaron agrupaciones de plantas en 14 localidades al norte de Patagonia, las agrupaciones de plantas y pequeños mamíferos se correspondieron con las divisiones superiores en la clasificación del paisaje, basadas en las características climáticas y geomorfológicas. Bolstad et al. (1998) plantean que la vegetación en regiones montañosas responde a

las variaciones en pequeña escala en el terreno, investiga la relación entre la composición del bosque, la elevación y un índice derivado de la forma del terreno. Saunders et al. (1998) propone a la temperatura, como una variable indicadora que incide en la formación de patrones de la cobertura vegetal en el paisaje a lo largo de una transecta de 3.820 m en un bosque nacional en el Norte de Wisconsin. En el caso de Venezuela, cabe destacar el análisis geomorfológico basado en el sistema propuesto por Zinck (1980), modificado por Berroterán (1985), y utilizado en el estudio de Paisajes Ecológicos de Sabanas en Llanos Altos Centrales de Venezuela (Berroterán 1988), donde se señala como nivel categórico central el “subpaisaje”, el cual define como una expresión del relieve producto de un mismo proceso sedimentológico general, material parental y tiempo; la unión de subpaisajes con diferentes formas del terreno conforman el “paisaje ecológico”, caracterizado por un determinado tipo de vegetación y suelo, dentro de un mesoclima específico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las fuentes cartográficas empleadas como información básica, están constituidas por los mapas topográficos a escala 1:100.000, hojas: 6747, 6847 y 6947 en formato analógico del año 1970; editadas por el Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional (SAGECAN). También se empleó el mapa de linderos e instalaciones del Parque Nacional El Ávila a escala 1:50.000 (INPARQUES 1993). La cobertura vegetal actual se extrajo del Mapa de Vegetación y Uso Actual del Parque Nacional El Ávila (Figura 1a), a escala de 1:100.000 (Meza 1996). Se homogeneizó la información disponible y se creó una base cartográfica a escala 1:100.000, a partir de la digitalización de las fuentes cartográficas señaladas, con el programa *Roots Profesional* versión 2.4 (*Decision Images, Inc.*).

En el desarrollo de la base de datos geoespacial, así como para la generación de los modelos digitales del terreno (MDT), se emplearon herramientas contenidas en el programa manejador de SIG,

Idrisi 2.0. En la conformación de la base de datos se digitalizó de la información cartográfica básica: curvas de nivel (altimetría), hidrografía, delimitación de microcuencas, vertientes y linderos del Parque Nacional El Ávila, los cuales fueron exportados al programa *Idrisi* en formato vectorial y posteriormente transformados a formato raster, con una resolución espacial de 50 m; seleccionada de acuerdo con la escala del mapa topográfico (1:100.000). La generación del modelo digital de elevaciones (MDE), considerado como un equivalente digital de un mapa topográfico, se realizó a partir de la digitalización de las curvas de nivel a intervalos de 40 m. A partir del MDE, y aplicando los distintos comandos programa *Idrisi*, se obtuvieron los siguientes modelos digitales del terreno: altitud, pendiente y orientación de las laderas (Felicísimo 1994). Son los insumos principales para la generación de modelos cartográficos, que permitan disponer de una aproximación a la descripción de los procesos formadores de patrones espaciales.

Para evaluar el grado de asociación que se presenta entre el mapa de vegetación actual simplificado y el modelo de cobertura vegetal potencial se empleó el índice *Kappa*; este índice también conocido como *KHAT* o *KIA* “*Kappa index of agreement*” (Rosenfield y Fitzpatric-Lins 1986; Carstensen 1987), contenido en el comando de tabulación cruzada de *Idrisi*. El comando “*Crosstab*” (tabulación cruzada), realiza la comparación de dos imágenes del SIG que contienen el mismo número de categorías, generando una nueva imagen con la combinación de todas las categorías. A partir de ésta nueva imagen raster se genera una tabla que determina el grado de coincidencia entre los píxeles de las imágenes comparadas. Para el caso del índice *Kappa*, el grado de coincidencia de píxeles representa una medida de asociación.

Área de estudio: geosistema El Ávila (Parque Nacional).

La Sierra del Ávila ha sido descrita como una elevación tectónica tipo “Horst”, situada entre el sistema de fallas del Caribe, al Norte, y las fallas

del Ávila, al Sur (González De Juana 1980). Es un sistema montañoso que se elevó a finales del Cretáceo y posee una litología diversa compuesta principalmente por rocas metamórficas altamente meteorizadas. Wehrmann (1972) reconoce tres tipos de fallas, dos longitudinales y una transversal, conformando un campo total de fracturas que determina una especie de mosaico en donde la red hidrográfica se ha desarrollado según la disposición de estas discontinuidades geoestructurales. Su dinámica está asociada al potencial gravitacional y a los procesos aluvio-torrenciales, lo cual conlleva a la disección y al transporte de materiales con la consecuente acumulación detrítica en los piedemontes, proporcionando la típica fisionomía montañosa característica de Serranía; ello explica el típico drenaje de la cordillera, formado por numerosas quebradas de curso corto con dirección norte-sur. Según Wehrmann (1972) la Sierra del Ávila define una importante unidad fisiográfica, estructural y estratigráfica conocida como el anticlinorio del Ávila.

De esta manera, desde el punto de vista geológico y geomorfológico, se correspondería con un geosistema, en el sentido taxocorológico del paisaje definido por Bertrand (1968). El régimen macroclimático es isotérmico (intervalo de oscilación menor a 2,5 C), con dos estaciones anuales, una época de sequía con duración de cinco meses: diciembre abril, y un período de lluvia de siete meses: mayo noviembre. En la precipitación destacan las influencias locales, en especial por efecto del relieve (Zambrano 1970). Por otro lado, la influencia de los vientos del Norte, conocidos como “Nortes”, dan lugar a lluvias torrenciales intensas capaces de realizar un gran trabajo geomorfológico, fenómeno natural sobre el cual se tiene conocimiento desde tiempos prehistóricos (Grases et al. 2000). En síntesis, las lluvias torrenciales excepcionales, y sus efectos directos sobre el modelado del relieve, y la alteración de la cobertura vegetal, se pueden concebir como propios de la dinámica de la Sierra del Ávila, caracterizada por una abrupta topografía y fuertes pendientes, las cual es recorrida por múltiples quebradas y torrentes, que ocasionalmente pueden comportarse como ríos torrenciales de gran caudal, cuyas cuencas y subcuencas interconectadas

poseen una extensión variable, desde unos 80 km² hasta menos de 2 km² (Sardi 1959).

Análisis y discusión de los resultados

El marco teórico-conceptual sobre el cual se basa el presente nivel del estudio, está relacionado con el origen, procedencia o “causalidad” que explica la presencia de determinada formación vegetal en un medio específico. Sobre el particular, resulta sumamente importante considerar en primer lugar los resultados preliminares obtenidos del SIG, donde es posible reconocer una cierta correspondencia de la ubicación de la cobertura vegetal con la altitud promedio (Tabla 1), avalando así la asociación de los distintos tipos de cobertura vegetal (espinar, matorral, bosque bajo y bosque medio) con los tipos fisionómicos de vegetación diferenciados por Huber y Alarcón (1988) a lo largo del amplio gradiente altitudinal.

El efecto de la altitud sobre las formaciones vegetales de los ecosistemas montañosos tropicales ha sido estudiada por Beard (1955) y Grubb (1977), quienes encuentran que el bosque tropical, 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 altura de los árboles emergentes) y florística (número de especies arbóreas), haciéndose progresivamente menos compleja, en referencia con el bosque tropical lluvioso definido como tipo “óptimo” por Richards (1966). Tales diferencias también son reconocidas Huber (1986) dentro del gradiente altitudinal de Rancho Grande, ubicado en la Serranía Litoral de la Cordillera de La Costa, lo cual ya fue considerado en la clasificación de Beebe y Crane (1948), quienes diferenciaron estas “Zonas Ecológicas”, y por Schäefer (1953), quien las distingue como distintas “comunidades bióticas” a lo largo del gradiente altitudinal. Por otro lado, dentro de la franja del gradiente altitudinal en el cual se ubican los bosques ombrófilos submontanos y montanos, piso característico de las selvas nubladas, se acusa una

altitud promedio superior de los bosques bajos (medios y densos) y medios (medios y densos) en la vertiente sur con respecto a la norte.

Esta situación no es casual, y ha sido explicada para la Cordillera de la Costa (Parque Nacional Henri Pittier) por Huber (1986), en relación con el fenómeno de humedad y la formación de nubes orográficas a distintas alturas de la montaña en función de la exposición de la vertiente a barlovento o sotavento. La zonalidad de la vegetación de la Región Capital fue modelada en el estudio realizado por el Instituto de Estudios Regionales y Urbanos de la USB en 1979 (Figura 2). A partir de este esquema hipotético se puede sustentar la interpretación de la cobertura vegetal del geosistema: Sierra de El Ávila. Según esta hipótesis, las sabanas, se asocian con zonas intervenidas que originalmente estaban cubiertas por bosques, resultado de la tala y la quema periódica del terreno (Amend 1991). No así los matorrales, los cuales según el estudio realizado por la USB (1979), representan formaciones vegetales terminales “climax”, que responden a determinadas condiciones del medio físico: climáticas, edáficas y topográficas. Este esquema se asemeja al sistema de clasificación basado en el modelo bioclimático de Holdridge (1979), empleado por Ewel et al. (1972) para levantar el Mapa de Zonas de Vida de Venezuela; concebido como un mapa de carácter ecológico.

Modelo integrado de la estructura fisiográfica del geosistema El Ávila

Siguiendo los criterios señalados por González-Bernaldez (1981), la estructura del paisaje esta ceñida al estudio de su “arreglo corológico”, concebido como un “patrón” o “pautas reiterativas”; también referido en la literatura como parches y mosaicos (Forman y Godron 1986; Forman 1998). Estructura dentro de la cual se diferencian tres patrones generales: (a) “estructura equipotencial”: acusando un cambio continuo de la exposición resultando así series zonales, equi-altitudinales, pisos altitudinales, bandas, franjas, etc., (b) “estructura celular”, respondiendo a anomalías “manchas” o tendencias a la

celularidad azonal, aspecto celular o mosaico, y (c) “estructura vectorial”: cuando se conserva la exposición pero varían las relaciones geoquímicas (catenas a lo largo de pendientes o de gradientes).

Por otro lado, para Bertrand (1968) el geosistema posee un “potencial ecológico” que se manifiesta a través de una explotación biológica del espacio, el cual en estado de equilibrio (plenitud de desarrollo biológico) se concibe como el estado “climax”, destacando así el papel fundamental de la vegetación y de su dinámica en la clasificación, evolución e interpretación geocológica del paisaje. Dado el cuestionamiento del determinismo clemensiano, Tuxen 1956 (en Naveh y Lieberman 1994) propone el término “vegetación natural potencial” en sustitución del término “climax”. En relación con dicho concepto, resulta interesante destacar los calificativos empleados en éste estudio, los cuales fueron establecidos por Ellenberg (1978); en Naveh y Lieberman (1994).

Este autor distingue: (a) la “vegetación zonal”, la cual se explica por las condiciones climáticas, tales como los pisos altitudinales, implicando condiciones de equipotencialidad, (b) la “vegetación extrazonal”, que expresa las condiciones topoclimáticas locales (pendiente/exposición) asociadas a la red de drenaje (vectorial), y (c) la “vegetación azonal”, como característica de condiciones edáficas e hídricas especiales (parches o células dentro de la matriz del paisaje). En el caso de un Geosistema Montañoso como la Sierra El Ávila se han recogido los distintos conceptos referidos dentro de un esquema sinóptico (Tabla 2). Para la generación del modelo integrado de la estructura fisiográfica del geosistema El Ávila, en cada una de las vertientes, se conjugaron las variables empleadas en los tres modelos espaciales generados con el SIG, los cuales representan la disposición espacial de los tres tipos de patrones básicos del paisaje: zonal, celular y vectorial. Para la constitución del modelo de patrones zonales se consideraron los pisos altitudinales, adoptándose como marco referencial las zonas de vida de Venezuela establecidas por Ewel et al. (1976),

basadas en el modelo bioclimático de Holdridge (1979).

El mapa de los pisos altitudinales, se obtuvo reclasificando del modelo digital de elevación con los siguientes intervalos (expresados en metros sobre el nivel del mar), para cada piso altitudinal: Tropical: 0-500, Premontano: 500-1.500, Montano Bajo: 1.500-2.500, Montano: 2.500 a 2.765. Para lograr la identificación de los patrones celulares o azonales dentro del paisaje, se consideró la generación de un modelo que integrara tanto las propiedades hidrológicas de las cuencas (densidad de drenaje y escurrimiento superficial) como su exposición; dado que la disponibilidad de humedad y la orientación, representan factores del medio que inciden en los procesos de evapotranspiración, los cuales son determinantes en la formación de pautas reiterativas dentro del mosaico del paisaje. En el modelado de los patrones vectoriales (caracterizado por los flujos unidireccionales y gravitacionales), se aplicó como criterio las áreas de influencia hídrica, conjugadas con los tipos de escorrentía superficial y la densidad de drenaje. Para ello, se determinó la influencia hídrica de los drenajes con una distancia de 100 m a cada lado de los principales cursos de agua. Posteriormente, se simplificó el modelo digital de los procesos geomorfodinámicos, en función a las cuatro clases de pendiente establecidas según el tipo de proceso geodinámico potencial predominante. La superposición del modelo de los procesos geomorfodinámicos (asociados a la erosión potencial) con el modelo de los patrones celulares, permitió una reclasificación de la imagen compuesta, atendiendo a las condiciones de escorrentía y drenaje características de los procesos vectoriales.

De ésta manera, a través del análisis de algunos rasgos del paisaje asociados a la topografía y derivados fundamentalmente de los modelos digitales del terreno, se extrajeron los tres modelos espaciales básicos asociados a los patrones estructurales del paisaje vegetal: zonales-equipotenciales, azonales-celulares y extrazonales-vectoriales (Bertrand 1968; González-Bernaldez 1981; De Agar et al. 1995). Cada uno de ellos, expresa un tipo de proceso de

formación y transformación de las pautas reiterativas del paisaje. En relación con la tipología del paisaje propuesta por Bertrand, cabe destacar una apreciación de J. Tricart (en Bertrand 1968), relativa a la noción de la escala espacial, subrayando que hay una jerarquía de los factores de causalidad y de las interacciones, donde la geomorfología comanda la formación y la evolución de los suelos, destacando que las agrupaciones vegetales a escalas detalladas (mayores a 1:25.000) están bajo la estrecha dependencia del factor geomorfológico. En nuestro caso, dicha asociación se ha abordado a partir de la interpretación del modelo integrado de la estructura fisiográfica del geosistema El Ávila, a un nivel semi-detallado correspondiente a la escala 1:100.000.

Modelo de cobertura vegetal potencial

Según Bertrand (1968) el mejor enfoque en la clasificación del paisaje lo ofrece la vegetación, dado que se comporta siempre como "reactivo" verdadero del medio. En el presente ensayo metodológico se conformó un base de dato geoespacial que permitió generar un modelo integrado de la estructura fisiográfica del geosistema El Ávila con el objeto de tener una aproximación a un modelo de cobertura vegetal potencial, sustentado en la estrecha interrelación de los principales componentes del medio físico con la vegetación natural (Bertrand 1968). Este planteamiento se fundamenta en el reconocimiento de la vegetación como variable ecológica clave, indicadora de las características estructurales y funcionales del paisaje (Monedero 1996; 2002; Adams 1999; Monedero y Gutiérrez 2001).

Patton (1978), define a 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. Según Vareschi (1992) existen dos posibilidades de enfocar su estudio, el primero detalla el ambiente y ajusta la cubierta vegetal, el segundo coloca en primer plano la cubierta vegetal

y trata de sacar conclusiones acerca de su ambiente. Con base a la primera posibilidad se ensayó con el modelo integrado de la estructura fisiográfica del geosistema El Ávila, a fin de generar, como una primera aproximación, un modelo de la cobertura vegetal potencial del Parque Nacional El Ávila, en caso de no haberse producido un cambio significativo por causa de la intervención antrópica.

A modo de ensayo metodológico se esbozó un modelo de cobertura vegetal potencial según los tipos fisionómicos genéricos obtenidos al combinar la cobertura vegetal (Meza 1996) y de las zonas de vida diferenciadas en el mapa ecológico de Venezuela de Ewel et al. (1976) para la Cordillera de La Costa. Se asocia así, el criterio fisionómico con la zonalidad altitudinal de la vegetación tropical del modelo bioclimático de Holdridge (1979). Los tipos fisionómicos obtenidos: Et: Espinar Tropical (Influencia Costera), Ep: Espinar Premontano (0-500 m.s.n.m.), Mt: Matorral Tropical (Influencia Costera), Mp: Matorral Premontano (0-500 m.s.n.m.), Bp: Bosque Premontano (0-500 m.s.n.m.), Bmb: Bosque Montano Bajo (1.500 2.500 m.s.n.m.), Bm: Bosque Montano (1.500 2.500 m.s.n.m.), Sp: Subpáramo (2.500 2.765 m.s.n.m.) conforman el modelo de cobertura vegetal potencial (Figura 1b) a partir del cual se abordó el estudio de su relación con las características abióticas contempladas en el modelo integrado de la estructura fisiográfica del geosistema El Ávila (Tabla 3). Para evaluar el grado de asociación entre el modelo de la cobertura vegetal potencial y el mapa de la vegetación actual, se empleó el índice *Kappa*, obteniéndose los siguientes resultados, (Bm) Bosque montano: 0,4650, (Sp) Subpáramo: 0,3902, (Ep) Espinar premontano: 0,3807, (Bmb) Bosque montano bajo: 0,2711, (Mp) Matorral premontano: 0,1878, (Et) Espinar tropical: 0,0750, (Bp) Bosque premontano: 0,0388, (Mt) Matorral tropical: 0,000.

Este índice tiene un rango de variación de 0 a 1, el valor igual a cero indica que ningún píxel de la imagen (mapa raster) de referencia evaluada se corresponde con el píxel de igual localización en la

segunda imagen, mientras que un valor de 1 expresaría plena coincidencia entre los mapas considerados. El índice *Kappa*, en términos generales, nos señala que la correspondencia es muy pobre entre los tipos de cobertura vegetal potencial del modelo con los del mapa, lo cual no resulta extraño, dado que por un lado los tipos de cobertura vegetal empleados son sumamente generales y de precisión moderada para que actúen como buenos indicadores ambientales, y por otro lado, los criterios fisiográficos empleados en el modelo no son definitivos y quedan abiertos para su revisión.

Además de las limitaciones propias del modelo, hay que tener presente el hecho de que la vertiente sur posee una cuantiosa superficie afectada históricamente por el hombre (Amend 1991), la cual, como no se puede calificar, en términos de Bertrand (1968), como “Climácica”, por lo que se considera sujeta, en gran parte, a una dinámica de biostasia paraclimática o bajo un proceso regenerativo (ocupada por vegetación secundaria). De ahí que en teoría ningún modelo de cobertura potencial (confrontado con la vegetación actual) pueda arrojar valores cercanos a la unidad para el índice *Kappa*. Por otro lado, para mejorar el ajuste del modelo se debería tener presente las etapas serales dentro del proceso de regeneración, las cuales se presentan bajo condiciones naturales (tales como las originadas por las perturbaciones que afectaron extensas áreas del geosistema El Ávila en diciembre de 1999 y febrero de 2005). Es por ello que, se ha de proporcionar una mayor información geocológica, que previa validación en campo, permita comprender el funcionamiento de los geosistemas, y determinar los regímenes de perturbación de origen natural o antrópico que los modifican.

Por otro lado, para mejorar la correspondencia, se han de revisar las premisas del modelo incorporando nuevos criterios que permitan optimizar la correspondencia del modelo con la realidad. No obstante, a pesar de la baja correspondencia general registrada, en los resultados obtenidos, se puede apreciar que existe cierta coherencia con la interpretación realizada anteriormente. Así los valores mas elevados del

índice *Kappa*, obtenidos para las formaciones vegetales menos intervenidas: bosque montano (0,4650), subpáramo (0,3902) y espinar premontano (0,3807), ofrecen una mejor correspondencia con la ubicación altitudinal de las formaciones vegetales, predicha por el modelo altitudinal (zonalidad). Por otro lado, al incrementar la afectación antrópica, y al ubicarnos en las proximidades del límite inferior del Parque (Amend 1991), se acusa una caída drástica de la correspondencia, como es el caso del bosque montano bajo (0,2711), y más aún en el bosque premontano (0,0388), tipo fisionómico de altura baja que acusa baja densidad arbórea. Finalmente, los criterios empleados en el modelo para diferenciar el matorral tropical y premontano, así como, el espinar tropical, dada la baja correspondencia con el mapa, no se ajusta a la realidad y exige una revisión de la clasificación efectuada.

CONCLUSIONES

A través del uso de modelos digitales del terreno generados con el empleo de herramientas integradas en los SIG, se abordó un estudio exploratorio de tres tipos de patrones espaciales básicos que conforman el modelo integrado de estructura fisiográfica del geosistema El Ávila, a partir del cual se obtuvo una aproximación al modelo de cobertura vegetal potencial, sustentado en la estrecha interrelación de los principales del medio físico con la vegetación natural. El estudio integrado del paisaje implica el reconocimiento de complejas relaciones espaciales, lo cual facilita la interpretación de la estructura y el funcionamiento geocológico. Felicísimo (1994) indica que este conocimiento integral del paisaje es básico para la conformación de modelos espaciales apropiados para explicar la complejidad corológica del paisaje.

Como conclusión final sobre el ensayo metodológico desarrollado, resulta significativo resaltar el aprendizaje proporcionado por la

presente experiencia, la cual se puede sintetizar en las siguientes potencialidades y limitaciones de la aplicación de éste enfoque de estudio. Potencialidades: (1) Aplicación y adaptación del marco teórico-conceptual de la geoecología como complemento de los estudios ecológicos de las comunidades y ecosistemas (Monedero 1998; Meier 2004). (2) Análisis espacial del paisaje, integrando de un número reducido de variables del medio físico para abordar la interpretación geoecológica de un modelo de la cobertura vegetal potencial en áreas naturales montañosas tropicales, con el propósito de facilitar la comprensión e interpretación de los agentes y procesos formadores de los distintos patrones espaciales diferenciados en el geosistema. Limitaciones: (1) Se trabajó con una escala cartográfica (1:100.000) que todavía resulta pequeña. (2) La cobertura vegetal sólo se diferencia con base a criterios fisionómicos-estructurales generales, y no se cuenta con datos fenológicos y florísticos georreferenciados. (3) No existe una cartografía temática (mesoclima, geomorfología, edafología, etc) a escalas detalladas, que propicie el desarrollo de un estudio ambiental integral de mayor profundidad. (4) Se acusa la ausencia de un estudio temporal de la vegetación que aporte información relativa a su dinámica sucesional. (5) El modelo de la cobertura vegetal potencial empleado todavía resulta muy incipiente, y se requiere de una revisión de las premisas sobre las cuales se sustenta.

Como consideraciones finales derivadas de la experiencia adquirida se pueden identificar los siguientes aspectos en los que se ha de profundizar para dar continuidad a éste tipo de investigación geoecológica: (1) Progresar en el empleo de la vegetación como variable ambiental clave en la interpretación ecológica del paisaje (Monedero 1996), buscando una mayor especificidad biogeográfica, a nivel de la composición y disposición espacial de las especie, tratando de adaptar algunos de los conceptos desarrollados por la Escuela Fitosociológica Sigmatista (Rivas-Martínez 1976; Braun-Blanquet 1979), lo cual facilitará el conocimiento de las distintas etapas serales de las fitocenosis. (2).

Aunado a la recomendación anterior se han de realizar estudios ecológicos-ambientales específicos y puntuales de las distintas comunidades vegetales y de los ecosistemas que conforman el geosistema El Ávila, ahondando en su descripción, composición y funcionamiento, en especial con relación al fenómeno y efecto de las lluvias torrenciales excepcionales (Grases et al. 2000) y de las intervenciones antrópicas e incendios de la vegetación (Amend 1991), a fin de explicar su comportamiento.

Estudios que al integrarse de forma holística a través del enfoque ecológico del paisaje (Bolos 1987), adquirirán su verdadera significación dentro del sistema. (3) Los estudios ecológicos recomendados en el punto anterior facilitarán la delimitación de las unidades y subunidades homogéneas del geosistema a una escala detallada: 1:25.000-1:10.000 (Carstensen 1987; Levin 1992; Muñoz-Reinoso y Novo 2005), lo cual propiciará la jerarquización, corología, taxonomía y clasificación de las áreas delimitadas dentro de un sistema coherente. (4) Siguiendo con la lógica expuesta en los puntos anteriores, para seguir profundizando en la línea de investigación se ha de incorporar el levantamiento de datos cuantitativos en campo, a fin de poder incorporar el análisis estadístico multivariante con los sistemas de información geográfica (Gutiérrez 2004), como herramienta, información que servirá para la interpretación de las imágenes satelitales y las fotos aéreas, y la generación de modelos matemáticos mas precisos en la interpretación geoecológica del paisaje. (5) La interpretación geoecológica de la heterogeneidad del paisaje, se ha de dirigir a una mayor comprensión de la funcionalidad a nivel abiótico: procesos geomorfológicos (Zinck 1980; Elizalde y Jaimes 1989), y bióticos: disposición espacial y movilidad de las especies, disponibilidad de hábitat para la fauna (Soulé y Wilcox 1980), fragmentación-aislamiento (Harris 1984), corredores biológicos (Yerena 1994; Ochoa 1993), así como de su dinámica ecológica (Olsson et al. 2000), determinando las etapas serales climax. Interpretación ecológica que se puede aplicar en la resolución de problemas ambientales (recuperación de áreas degradadas), así como en la preservación de la biodiversidad (Berroterán

1998), y en la protección de las áreas naturales (actualización de planes de ordenación y manejo dentro de la estrategia de diseño e integración sistémica de las Áreas Bajo Régimen de Administración Especial (Moss 1988).

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al CONICIT (Proyecto S1-95000570) y al CDCH-UCV (21-00-3414-95), por el apoyo

financiero proporcionado al desarrollo de la presente investigación, realizada en el Laboratorio de Geoecología del CENAMB-UCV. A los profesores José Luis Berroterán (U.C.V.), Mirady Sebastiani (U.S.B.) y Valois González (U.C.V.), cuyas acuciosas observaciones permitieron mejorar la edición del presente documento.

LITERATURA CITADA

Adams, J. M.

1999. A Suggestion for an improved vegetation scheme for local and global mapping and monitoring. *Environmental Management* 23 (1): 1-13.

Amend, S.

1991. Parque Nacional El Ávila. Serie: Parques Nacionales y Conservación Ambiental N°. 2. Ed. Torino. 186 p.

Barrío G. Del, B. Alvera, J. Puigdefabregas y C. Diez.

1997. Response of high mountain landscape to topographic variables: Central Pyrenees. *Landscape Ecology* 12 (2): 95-115.

Beard, J.S.

1955. The Classification of Tropical American Vegetation-Types. *Ecology* 36 (1): 89-99.

Beebe, W. y J. Crane.

1948. Ecología de Rancho Grande, una selva nublada subtropical en el norte de Venezuela. *Bol. Soc. Venez. Cienc. Nat.* 11 (73): 217-258.

Berroterán, J.L.

1985. Geomorfología de un área de Llanos Bajos Centrales Venezolanos. Enfoque con fines de estudio de suelos y vegetación a escala pequeña. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales* 143: 31-77.

Berroterán, J.L.

1998. Spatial representation, biodiversity and

fragmentation communities of the High Central Llanos of Venezuela. En Dallmeier. F. y J. Comiskey editores: *Forest Biodiversity in North, Central and South America and the Caribbean: Research and Monitoring. Man and the Biosphere Series*, 20: 137-150. UNESCO and The Parthenon Publishing Group, Carnforth, Lancashire, UK.

Bertrand, G.

1968. *Paysage et géographie physique globale. Esquisse Méthodologique.* *Revue Géographique des Pyrénées et, du Sud-Quest, Toulouse.* Tome: 39, pp 249-272.

Braun-Blanquet, J.

1979. *Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales.* Ed. H. Blume. 820 p.

Bolos de M.

1987. Nuevos conceptos en los estudios aplicados al paisaje integrado. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* 7: 15-19.

Bolstad, P.V., W. Swank y J. Vose.

1998. Predicting Southern Appalachian overstory with digital terrain data. *Landscape Ecology* 13 (5): 271-283.

Carstensen, L.W.

1987. A Measure of Similarity for Cellular Maps. *The American Cartographer*, 14 (4): 345-358.

De Agar Martín P.; C. De Pablo y F. Pineda.

1995. Mapping the ecological structure of a territory: A case study in Madrid (Central Spain). *Environmental Management* 19 (3): 345-357.

Elizalde, G. y E. Jaimes.

1989. Propuesta de un modelo pedogeomorfológico. *Revista Geográfica Venezolana* Vol XXX. Universidad de Los Andes. Venezuela. Pp. 5-35.

Ewel, J. J., A. Madriz y J.A. Tosi.

1976. Zonas de Vida de Venezuela. MAC-FONAIAP. Caracas. 265 p.

Felicísimo, A.

1994. Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicaciones en las Ciencias Ambientales. Pentalfa, Oviedo, España. 219 p.

Forman, R.

1998. Land Mosaics. The ecology of landscapes and regions. The ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press. Cambridge 632 p.

Forman, R. y M. Godron.

1986. Landscape Ecology. Editorial Wiley John & Sons. New York. United States. 618 p.

González-Bernáldez, F.

1981. Ecología y Paisaje. De. H. Blume. Madrid. España. 250 p.

González De Juana, C.

1980. Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas. Ed. Foninves. Caracas, Venezuela. 829 p.

Grases, J. P.; J.I. Amundaray; A. Malaver; P. Feliziani; L. Franceschi, y J. C. Rodriguez

2000. Emergencia 99. Efectos de las lluvias caídas en Venezuela en Diciembre de 1999. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo-PNUD (Office for the Coordination of Humanitarian Affairs-OCHA) / Corporación Andina de Fomento-CAF / CDB Publicaciones, 224 páginas.

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.

Gutiérrez, M.

2004. Propuesta metodológica para la caracterización de patrones espaciales en las microcuencas del Parque Nacional El Ávila. Trabajo Especial de Grado. Especialización en Análisis de Datos en Ciencias Sociales. Área de Postgrado en Estadística. FACES. UCV. 80 p.

Harris, L.

1984. The fragmented forest, island biogeography theory and the preservation of biotic diversity. University of Chicago Press. 230 p.

Holdridge, L. R.

1979. Ecología basada en zonas de vida. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica. 215 p.

Huber, O.

1986. Las Selvas Nubladas de Rancho Grande Observaciones sobre su fisionomía, estructura y fenología. En Huber, O. Ed. La Selva Nublada de Rancho Grande. Parque Nacional "Henri Pittier". Fondo Editorial Acta Científica. 288 p.

Huber, O. y C. Alarcón.

1988. Mapa de Vegetación de Venezuela. Escala 1:2.000.000. MARNR.

INPARQUES

1983. Mapa Topográfico del Parque Nacional El Ávila a escala 1:50.000.

Levin, S.

1992. The problem of pattern and scale in ecology. *Ecology* 73 (6), pp 1942-1967.

López-Blanco, J. y L. Villers-Ruiz.

1995. Delineating boundaries of environmental Units for land management using a geomorphological approach and GIS: A study in Baja California, Mexico. *Remote Sens. Environ.*, 53: 109-117.

Meier, W.

2004. Flora y vegetación del Parque Nacional El Ávila (Venezuela, Cordillera de la Costa), con especial énfasis en los bosques nublados. Edición electrónica en CD. Universität Freiburg, Germany. Título de la versión original: "Flora und Vegetation des Ávila-Nationalparks (Venezuela/Küstenkordillere) unter besonderer Berücksichtigung der Nebelwaldstufe" publicada 1998 en *Dissertationes Botanicae* Tomo 296, 485 p. J. Cramer in der Gebr. Borntraeger Verlagsbuchhandlung Berlin Stuttgart.

Meza, J.A.

1996. Memoria Descriptiva del Mapa de Vegetación y Uso Actual del Parque Nacional El Ávila, Distrito Federal y Estado Miranda. Escala 1:100.000. Serie de Informes Técnicos Dirección General Sectorial de Información Ambiental. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Caracas, Venezuela. 67 p.

Monedero, C.

1996. Esquema operativo de evaluación ecológica empleando a la vegetación como componente ambiental clave. Con referencia especial al caso venezolano. *Interciencia* 21 (4): 208-215.

Monedero, C.

1998. Quantitative Analysis of the Arboreal Structure in a Tropical Cloud Forest in the Ramal Interior of the Cordillera Caribe. Loma de Hierro (Estado Aragua). Venezuela en *Forest Biodiversity in North, Central and South America, and the Caribbean*. UNESCO and The Parthenon Publishing Group. Pp. 427-447.

Monedero, C.

2002. Ensayo metodológico para la interpretación geocológica de la heterogeneidad del paisaje vegetal en un geosistema montañoso tropical. Caso de Estudio: Parque Nacional El Ávila. Trabajo de Ascenso - Categoría de Asociado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. Caracas, Venezuela. 118 p.

Monedero, C. y M. Gutiérrez.

2001. Análisis cuantitativo de los patrones espaciales de la cobertura vegetal en el geosistema montañoso tropical El Ávila. *Ecotropicos*. Vol. 14(1): 19-30.

Monjeau, J.A., E.C. Birney, L. Ghermandi, R.S. Sikes, L. Margutti y C.J. Phillips.

1998. Plants, small mammals, and the hierarchical landscape classifications. *Landscape Ecology* 13 (5): 285-306.

Moss, M.

1988. *Landscapes and Management*. New York, USA. 242 p.

Muñoz-Reinoso J.C. y F.G. Novo.

2005. Multiscale control of vegetation patterns: the case of Doñana (SW Spain) *Landscape Ecology* 20(1): 51-61.

Naveh, Z. y A.S. Liberman.

1994. *Landscape ecology. Theory and Application*. Springer-Verlag. 2nd Ed. 360 p.

Ochoa, J.

1993. Diseño de corredores de vida silvestre en bosques productores de maderas de la Guayana venezolana. Pp. 366-382, en *Conservation Corridors in the Central American Region* (A. Vega, ed.). Tropical Research and Development, Inc. Gainesville, Florida.

Olsson, E.G.A., G. Austrheim y S.N. Grenne.

2000. Landscape change patterns in mountains, land use and environmental diversity, Mid-Norway 1960-1993. *Landscape Ecology* 15 (2): 155-170.

Patton, C., C. Alexander y F. Kramer.

1978. *Curso de Geografía Física*. Ediciones Vicens. Barcelona, España. 434 p.

Richards, P.W.

(1966). *The tropical rain forest. An ecological study*. University Press. Cambridge. 480p.

Rivas-Martínez, S.

1976. Sinfitosociología, una nueva metodología para el estudio del pasaje vegetal. *Anal. Inst. Bot. Cavanilles* 33: 179-188.

Rosenfield, G.H. y K. Fitzpatric-Lins.

1986. A Coefficient of Agreement as a Measure of Thematic Classification Accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 52 (2): 223-227.

Sardi, V.

1959. Gasto máximo de los ríos y quebradas del Litoral Central. *Revista Colegio de nezucla* 275: 14-17. Saunders, S.C., C. Chen, T.R. Crow y K.D. Brosofske. 1998. Hierarchical relationships between landscape structure and temperature in a managed forest landscape. *Landscape Ecology* 13 (6): 381-395.

Ingenieros de Venezuela 275: 14-17. Saunders, S.C., C. Chen, T.R. Crow y K.D. Brosofske.

1998. Hierarchical relationships between landscape structure and temperature in a managed forest landscape. *Landscape Ecology* 13 (6): 381-395.

Schäfer, E.

1953. Estudio bio-ecológico comparativo sobre algunos Cracidae del Norte y Centro de Venezuela. *Bol. Soc. Venez. Cienc. Nat.* 15 (80): 30-63.

Schneider, K. y P. Robbins. eds.

1995. GIS and mountain environments. Explorations in geographic information systems technology, volume 5 UNITAR Palais des Nations, CH-1211 Geneva 10, Switzerland. 181 p.

Soulé M.E. y B.A. Wilcox.

1980. *Conservation Biology*. Sinauer Associate, Inc. Publishers. Massachusetts. 395 p.

Steyermark, J. y O. Huber.

1978. *Flora del Ávila*. MARNR - Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales. Editorial Vollmer Foundation. Caracas, Venezuela. 971 p.

Turner, M. y R. Gardner. (eds.)

1991. Quantitative methods in landscape. Analysis and interpretation of landscape

heterogeneity. *Ecological Studies* 82. Springer Verlag, New York. 536 p.

USB

1979. *Estudios de los Espacios Abiertos de la Región Capital*. Vol. I *Vegetación*. Coordinador: Pedro Llubes. Instituto de Estudios Regionales y Urbanos (IERU). Universidad Simón Bolívar. Caracas. 144 p.

Vareschi, V.

1992. *Ecología de la Vegetación Tropical*. Edición especial de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales. Caracas. 306 p.

Wehrmann, M.

1972. Geología de la región de Guatire-Colonia de Tovar. Memoria del III Congreso Geológico Venezolano. Caracas. Tomo IV pp. 2093-2121.

Wondzell, S.M., G.L. Cunningham y D. Bachelet.

1996. Relationships between landforms, geomorphics processes, and plant communities on a watershed in the northern Chihuahuan Desert. *Landscape Ecology* 11 (6): 351-362.

Yerena, E.

1994. *Corredores Ecológicos en los Andes de Venezuela*. Serie Parques Nacionales y Conservación. Ed. Fundación Polar e INPARQUES. Caracas. 87 p.

Zambrano, A.

1970. Estudio fisiográfico regional de la cuenca del Tuy. *Boletín de Geología*. Ministerio de Minas e hidrocarburos. Vol. XI, (21): 3-206.

Zinck, A.

1981. Definición del ambiente geomorfológico con fines de descripción de suelos. CIDIAT, Mérida, Venezuela. 114 p.

Tabla 1: Altitud Promedio por Tipo de Cobertura

Acrónimo	Tipo de cobertura	Altitud promedio (m s.n.m.)	
		Vertiente norte	Vertiente sur
Er	Espinar ralo	300	No está presente
Ed	Espinar denso	290	No está presente
Mr	Matorral ralo	322	922
Md	Matorral denso	469	909
Bbr	Bosque bajo ralo	901	1.192
Bbm	Bosque bajo medio	829	1.270
Bbd	Bosque bajo denso	751	768
Bmr	Bosque medio ralo	No está presente	1.013
Bmm	Bosque medio medio	995	1.292
Bmd	Bosque medio denso	1.349	1.662
Sp	Subpáramo	2.459	2.515
Sa	Sabana abierta	1.537	1.411
U	Uso urbano	0	786
A	Uso agrícola	1160	841
R	Uso recreativo	No está presente	712

Tabla 2: Esquema Sinóptico de los Patrones del Geosistema El Ávila

Expresión	Origen o Causa
(a) Patrón o Zonal-Equipotencial	
<p>Disposición de la cobertura vegetal en bandas horizontales o pisos altitudinales. En consecuencia, desde el punto de vista geocológico el estudio del Geosistema de la Sierra del Ávila en su vertiente norte, refuerza el anterior esquema hipotético de zonalidad altitudinal de Holdridge.</p>	<p>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 del agua donde se presentan los bosques nublados.</p>
(b) Patrón Azonal-Celular	
<p>Disposición de la cobertura vegetal en manchas, parches que conforman un mosaico de distintas expresiones vegetales.</p> <p>Subdivisión de las zonas por condiciones mesoclimáticas de carácter azonal.</p> <p>La orientación y la pendiente de las laderas ejercen un efecto importante sobre la estructura y la dinámica de los bosques, agregando cierto carácter celular en la zonalidad altitudinal de la cobertura vegetal.</p>	<p>Este carácter celular se puede apreciar, al tener presente la orientación de las laderas, 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.</p> <p>La pendiente, 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 caso de presentarse lluvias torrenciales intensas la posibilidad de que la escorrentía elimine la cobertura vegetal sobre suelos saturados con agua 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.</p>
(b) Patrón Extrazonal-Vectorial	
<p>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 la selva nublada.</p>	<p>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.</p> <p>Nota: Cabe destacar que aún cuando la 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.</p>

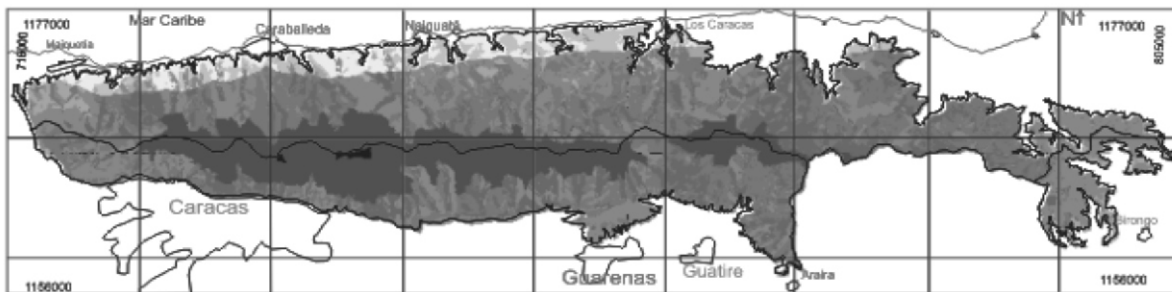
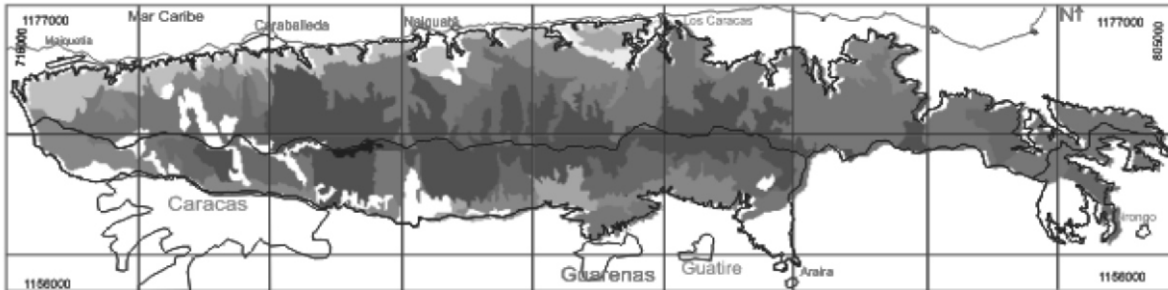
Tabla 3: Modelo de Cobertura Vegetal Potencial

CRITERIOS	Influencia costera	Altitud en metros sobre el nivel del mar			
		0-500	500-1500	1500-2500	2500-2765
Baja escorrentía superficial Baja densidad de drenaje (BB)	Et	Ep	Bmb	Bm	Bm
Alta escorrentía superficial Baja densidad de drenaje (AB)	Et	Ep	Bmb	Bm	Sp
Baja escorrentía superficial Moderada densidad de drenaje (BM)	Et	Mp	Bmb	Bm	Sp
Alta escorrentía superficial Moderada densidad de drenaje (AM)	Et	Mp	Bmb	Bm	Sp
Baja escorrentía superficial Alta densidad de drenaje (BA)	Mt	Bp	Bmb	Bm	Sp
Alta escorrentía superficial Alta densidad de drenaje (AA)	Mt	Bp	Bg	Bg	No está presente

Leyenda:

Et	Espinar Tropical
Ep	Espinar Premontano
Mt	Matorral Tropical
Mp	Matorral Premontano
Bp	Bosque Premontano
Bmb	Bosque Montano Bajo
Bm	Bosque Montano
Bg	Bosque de galería (asociado a drenajes)
Sp	Sub-páramo

Figura 1: a. Modelo de la cobertura vegetal actual. b. Modelo de la cobertura vegetal potencial



LEYENDA

- | | |
|---|------------------------------|
| 1 | Espinar Tropical |
| 2 | Espinar Premontano |
| 3 | Matorral Tropical |
| 4 | Matorral Premontano |
| 5 | Bosque Premontano |
| 6 | Bosque Montano Bajo |
| 7 | Bosque Montano Bajo |
| 8 | Sub-páramo |
| 9 | Usos (coberturas antrópicas) |

Figura 2: Zonalidad de la Vegetación de la Región Capital (USB 1979)