

ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LOS PATRONES ESPACIALES DE LA COBERTURA VEGETAL EN EL GEOSISTEMA MONTAÑOSO TROPICAL EL ÁVILA

QUANTITATIVE SPATIAL PATTERN ANALYSIS OF THE VEGETAL COVER IN EL AVILA TROPICAL MOUNTAIN GEOSYSTEM

Carlos Monedero y Mylene Gutiérrez

*Centro de Estudios Integrales del Ambiente, Universidad Central de Venezuela,
Calle Gil Fortoul, Quinta CENAMB, Santa Mónica, Apartado Postal 17350, Caracas 1040,
Venezuela. Tf/Fax (58-212) 6621029. E-mail: monedero@cantv.net, mygutier@hotmail.com*

RESUMEN

Se abordó el análisis de los patrones espaciales de la cobertura vegetal en el geosistema montañoso El Ávila (Venezuela), como ensayo metodológico para la caracterización de la estructura del paisaje en sistemas montañosos tropicales. El área bajo estudio esta delimitada por el Parque Nacional El Ávila, área natural protegida que contiene una superficie representativa del geosistema, la cual fue seleccionada para este tipo de estudio en virtud de su elevada heterogeneidad espacial y grado de conservación. Unidad del paisaje que al ser diferenciada en sus vertientes norte y sur permitió racionalizar el análisis comparativo de los patrones espaciales de la cobertura vegetal y uso de la tierra dentro del geosistema. El empleo de índices de composición y configuración de los parches que integran el paisaje, se emplearon como indicadores de la disponibilidad y la fragmentación de hábitat. Los indicadores de heterogeneidad del paisaje empleados en el presente ensayo metodológico, como expresión cuantitativa de los patrones espaciales de la cobertura vegetal, poseen gran aplicabilidad en la conservación y manejo de las áreas naturales protegidas.

Palabras clave: Ecología del paisaje, patrón espacial, índices, heterogeneidad, fragmentación, hábitat, cobertura vegetal, Venezuela.

ABSTRACT

Spatial pattern analysis of vegetation cover in the mountain geosystem El Ávila (Venezuela) was conducted as a methodological test for the characterization of the landscape structure in tropical mountain systems. The study area is delimited by El Ávila National Park, a nature protected area containing a representative area of the geosystem, and was selected for this study due to its high spatial heterogeneity and conservation status. Distinguishing north and south sides of the landscape unit provided a rationale for comparative pattern analysis of vegetation cover and land use in this geosystem. The patch composition and configuration indices employed in this methodological test constitute the landscape indicators of habitat availability and fragmentation. The heterogeneity landscape indicators applied in this methodological test represent quantitative expression of vegetal cover spatial pattern and have a broad applicability to the management and conservation of natural protected areas.

Key words: Landscape ecology, spatial pattern, indices, heterogeneity, fragmentation, habitat, vegetation cover, Venezuela.

INTRODUCCIÓN

El paisaje puede ser considerado como una superficie espacialmente heterogénea, representable como un mosaico integrado por un conjunto unidades homogéneas denominadas parches, los cuales están conformados por áreas naturales o

intervenidas por el hombre, entre las cuales se establecen relaciones espaciales y funcionales (Forman y Grodón 1986). Los parches son unidades dinámicas que se reconocen a diversas escalas espaciales y temporales, los cuales, bajo un enfoque corológico y ecológico, se pueden asociar a algún tipo de especie, comunidad, ecosistema, hábitat o



Figura 1. Área de Estudio: Geosistema montañoso tropical circunscrito dentro de los linderos del Parque Nacional El Ávila (tramo central de la Cordillera de la Costa).

un determinado proceso ecológico, tanto físico (toposecuencia, gradiente térmico, etc.) como biológico (migración, aislamiento, fragmentación, corredores biológicos, etc.). Por esta razón los límites o bordes de cada parche sólo tiene significado a una escala de referencia particular (Forman 1995, McGarigal *et al.* 1998, Turner y Gardner 1990).

La fisonomía del paisaje o patrón, puede caracterizarse bajo dos aspectos fundamentales: composición y configuración, proporcionando una expresión visible de la estructura del paisaje, que podría acogerse al concepto de fenosistema definido por González-Bernáldez (1981). Estos dos aspectos pueden considerarse de manera independiente o integrados a fin de lograr una interpretación de los procesos ecológicos y los flujos de organismos; fenómenos subyacentes, asociados a la funcionalidad del paisaje, los cuales por no resultar evidentes al observador son concebidos por González-Bernáldez (1981) como característicos del criptosistema.

La composición, como indicador de la heterogeneidad espacial, expresa las características asociadas a la variedad y a la abundancia de los parches dentro del paisaje, pero sin que tenga una ubicación particular dentro de la matriz del mosaico. Esto tiene especial importancia en lo relativo a la disponibilidad de hábitats requeridos por las diversas especies. La configuración se refiere a la disposición espacial de cada tipo de parche a lo

largo del paisaje, su ubicación relativa (relaciones topológicas), bordes o límites de hábitats y paisajes, que expresa algunos de los procesos ecológicos fundamentales tales como: comunicación (*contagion*), insularización o aislamiento, (Frohn 1998).

Para el análisis cuantitativo de la composición y la configuración del paisaje, se han desarrollado numerosos índices, muchos de los cuales están correlacionados (Argis *et al.* 1998, Ritters *et al.* 1996) y tienen significados ecológicos distintos de acuerdo al tipo de estudio, el cual corológicamente se puede abordar a nivel del parche, clase de parches o paisaje. El geosistema montañoso tropical empleado para realizar el presente ensayo metodológico está ubicado en el tramo central de la Cordillera de la Costa y se corresponde al área circunscrita dentro de los linderos del Parque Nacional El Ávila (Figura 1).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se delimitaron las dos vertientes en el mapa del Parque Nacional El Ávila a escala 1:100.000 (INPARQUES 1983) y se digitalizó la red hidrográfica. Por otra parte se digitalizó el Mapa de Vegetación del Parque Nacional El Ávila, el cual fue obtenido a partir de la interpretación visual de una imagen de satélite Landsat TM de 1994 (MARNR 1996). El programa de digitalización empleado fue Roots Profesional versión 2.4. Posteriormente se transfirió el mapa final a formato

Tabla 1. Descripción de los Índices de Heterogeneidad Espacial

ÍNDICE	FÓRMULA	DESCRIPCIÓN	RANGO
Número de parches	$NP = n_{ij}$ donde: $i = \text{parche}$ $j = \text{clase (tipo de parche)}$	Número de polígonos con identificadores (códigos) diferentes (imagen raster).	> 0, SIN LÍMITE
Tamaño	$\text{ÁREA} = a_{ij} \left(\frac{1}{10.000} \right)$	Área del parche (m ²), dividido entre 10.000 del parche <i>i</i> de la clase <i>j</i>	> 0, SIN LÍMITE (depende del grano y extensión de la imagen).
Perímetro o Borde 0 (Perimeter)	$\text{PERÍMETRO} = \sum \sum p_{ij}$	Longitud en (m) del borde del parche incluyendo los huecos para cada clase de parches.	> 0, SIN LÍMITE
Area Central (Core area)	$\text{ÁREA CENTRAL} = a_{ij} \left(\frac{1}{10.000} \right)$	Superficie del parche (m ²), dividido en 10.000, menos la faja del borde.	> 0, SIN LÍMITE
Forma (Shape)	$\text{ÍNDICE DE FORMA} = \frac{P_{ij}}{\sqrt{p - a_{ij}}}$ donde: $p = \text{perímetro}$ $a = \text{área del parche}$	La forma de parches de igual perímetro (m) entre la raíz cuadrada del área (m ²), ajustada por una constante, adjudicada a un cuadrado. Cuando el valor del índice es igual a la unidad el parche es cuadrado, sin límite superior cuando el parche es más irregular.	> 1, SIN LÍMITE
Cercanía (Near)	$\text{NEAR} = \text{hij}$	Distancia en (m) al vecino más cercano del mismo tipo basado en la distancia más corta desde a hasta	> 0, SIN LÍMITE
Densidad de Parches (PD)	$\text{PD} = \frac{n_i}{A} * (10.000) (100)$	Número de parches por cada 100 ha	> 0, SIN LÍMITE
Comunicación (Contagion)	$\text{CONTAG} = 1 + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^n (P_i) \left[\frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right] - \ln(P_i) \left[\frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right]}{2 \ln(m)} (100)$	Es igual a menos la abundancia porcentual de cada tipo de parche multiplicada por el número de adyacencias de celdas entre parches del tipo considerado y otros tipos de parches, multiplicado por el logaritmo de la misma cantidad sumado por cada tipo de parche dividido por dos veces el logaritmo de el número de tipos de parches multiplicado por 100 (para expresarlo en %). Es decir este índice evalúa la comunicación observada sobre la máxima comunicación de parches posible en función del número máximo de tipos de parches. CONTAG se aproxima a 0 cuando la distribución de adyacencias (a nivel de celdas individuales) se presenta con un solo tipo de parche. Cuando es = 100 expresa que todos los tipos de parches son igualmente adyacentes a todos los otros tipos de parche (lo que sería también máximo intermezclado y yuxtaposición). La probabilidad de que el tipo perteneciera a la cubierta <i>i</i> equivalente a la representación porcentual del tipo de cubierta en el mapa y la probabilidad condicional de que obteniendo un píxel de tipo <i>i</i> que una de las celdas adyacentes sea de tipo <i>i</i> (el algoritmo calculado en FRACSTATS fue desarrollado por Li y Reynolds, 1983).	0 < CONTAG ≤ 100
Intermezclado y Yuxtaposición (IJI)	$\text{IJI} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=i+1}^m \left[\frac{e_{ik}}{E} \right] - \ln \left[\frac{e_{ik}}{E} \right]}{\ln(1/2[m'(m'-1)])} (100)$	Es igual a menos la simetría de la longitud de cada tipo de parche (m) dividido por el borde total del paisaje en (m), multiplicado por el logaritmo de la misma cantidad sumado cada tipo de parche dividido por el logaritmo del número de tipos de parches, entre el número de tipos de parches menos 1 dividido por 2 multiplicado por 100. Es la yuxtaposición observada sobre la máxima yuxtaposición posible según el tipo de parches posibles (a nivel de parches). IJI considera todos los tipos de parches presentes en la imagen. Los valores bajos indican adyacencia de pocos tipos de cobertura. Se incrementa a medida que aumenta la riqueza de coberturas adyacentes, este índice está basado en la adyacencia de parches y no de celdas. Cada parche es evaluado con los otros tipos de parches solo son considerados los perímetros sin áreas centrales. Mide la distancia a la cual los parches se intermezclan. Valores bajos expresan que el paisaje está fuertemente mezclado. Este índice no está afectado por el tamaño, número, contigüidad o dispersión de los parches como el índice de adyacencia. Representa el grado de intermezclado observado y el porcentaje máximo que es posible obtener de acuerdo a todos los tipos de parches.	0 < IJI ≤ 100

ANÁLISIS DE LA COBERTURA EN UN GEOSISTEMA MONTAÑOSO

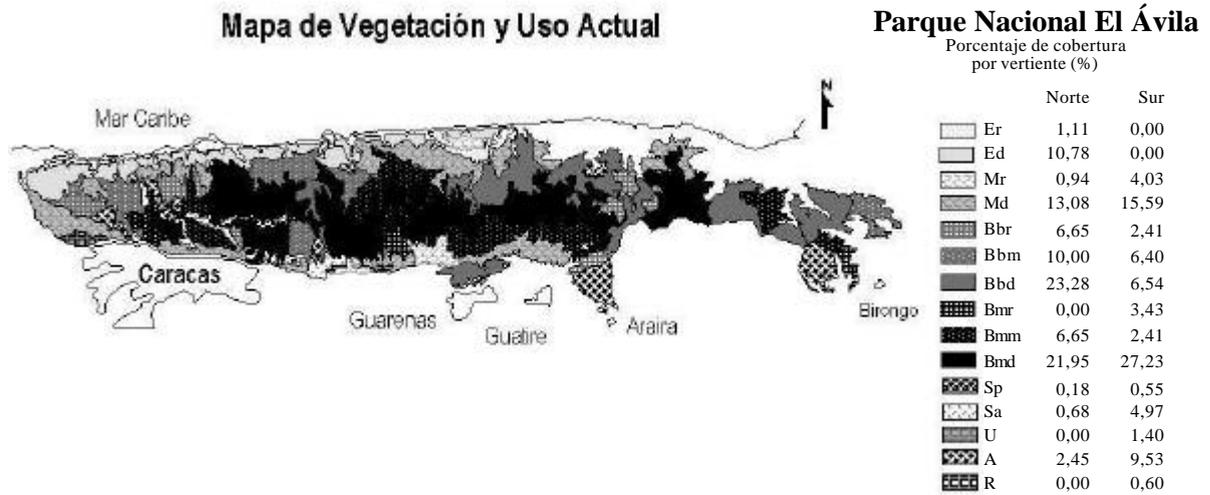


Figura 2. Mapa digital de la cobertura vegetal y el uso actual de la tierra del Parque Nacional El Ávila, en el cual se indica el porcentaje de cobertura por vertiente (Norte y Sur).



Figura 3. Mapa digital del índice de forma en el cual se representan las cinco clases de complejidad de formas de los parches: muy baja, baja, moderada, alta y muy alta, diferenciadas por vertiente (Norte y Sur).

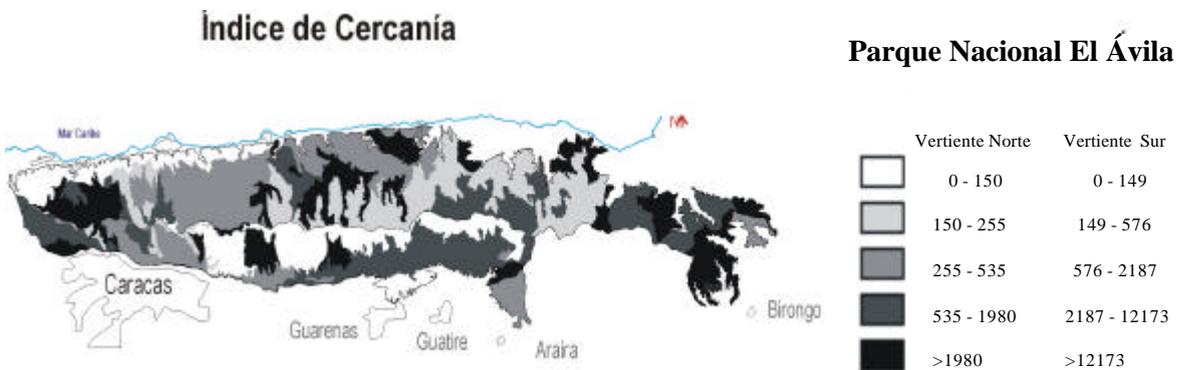


Figura 4. Mapa digital del índice de cercanía (vecino más cercano) en el cual se representan los cinco niveles de cercanía de los parches: muy baja, baja, moderada, alta y muy alta, diferenciados por vertiente (Norte y Sur).

raster con el Sistema de Información Geográfica IDRISI para windows versión 2.0. Para el análisis de los patrones espaciales, empleamos el programa FRAGSTATS, versión 2.0 para DOS (McGarigal y Marks 1994), con el cual se calcularon los índices del paisaje. El procesamiento automatizado se realizó en el programa IDRISI para la realización de mapas temáticos. Los parámetros utilizados en FRAGSTATS fueron los siguientes, filas: 1740, columnas: 420, tamaño de la celda: 50 m, tipo de datos: imagen IDRISI, distancia de borde: 50 m, radio de proximidad: 500 m. La descripción de los índices de heterogeneidad empleados se sintetiza en la Tabla 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dentro del Geosistema Parque Nacional El Ávila, con 80.863 ha, se distinguen las dos vertientes norte y sur por sus distintos niveles de intervención y perturbación. La vertiente norte posee un total de 71 parches distribuidos en 12 clases de cobertura, 11 se corresponden con la vegetación natural y una de uso agrícola. Por otro lado, la vertiente sur posee un total de 58 parches, que representan 13 clases de cobertura, de los cuales 10 representan a la vegetación natural y 3 a categorías de uso: urbano, recreativo y agrícola. La digitalización de los distintos tipos de parches de cobertura (Figura 2) se obtuvieron del Mapa de Vegetación y Uso Actual de la Tierra del Parque Nacional El Ávila, a escala 1:100.000. De este modo podemos constatar que la riqueza de vegetación, y por ende de hábitats distintos, es mayor en la vertiente norte. El tamaño medio de los parches de todos los tipos de cobertura en ambas vertientes es menor a 1.000 ha, salvo en el caso del bosque bajo denso (Bbd)* en la vertiente norte, que tiene un tamaño medio de alrededor de 3.000 ha (categoría representada por sólo cuatro parches). En la vertiente norte todas las clases de vegetación natural tienen un valor medio de superficie entre 500 y 900 ha, con la excepción de las coberturas de sabana abierta y subpáramo que poseen un tamaño medio menor a 100 ha. En la vertiente sur, la clase que tiene el mayor tamaño medio (1.000 ha) es el matorral denso, constituido por cinco parches. El matorral ralo y las coberturas de bosque (menos el bosque bajo ralo y el bosque bajo denso), tiene un tamaño mayor a 500 ha. Las coberturas de sabana abierta y subpáramo, tienen menor número de parches y casi el doble del tamaño

medio que en la vertiente norte. Los usos urbano y recreativo no están presentes en la vertiente norte, y en la vertiente sur, ninguna de estas categorías tiene un tamaño medio superior a 500 ha. El uso agrícola en ambas vertientes tiene el mismo número de parches. Sin embargo, el tamaño de los parches de la vertiente sur, en promedio es de unas 400 ha, mientras que en norte es de unas 200 ha. Los resultados expresados por los índices a nivel de clase de parche se muestran en la Tabla 2.

La forma y localización relativa del parche establecen la configuración del paisaje, a través de la cual es posible identificar los factores críticos en el mantenimiento de la abundancia y diversidad de especies, donde la cobertura vegetal natural ha sido perturbada (Forman y Godron 1986). En este primer análisis de la configuración, se diferencian las áreas centrales de los bordes en cada uno de los parches. Puede considerarse como borde a una zona de transición o ecotono, que posee características distintas al interior del parche o área central. En la literatura relativa a la biología de la conservación, se estima para especies vegetales ecotonos entre 30 a 60 m; y para especies animales de 60 a 600 m (Pearce 1992). Para este análisis consideramos como borde un ecotono de 50 m (tamaño del pixel empleado en la cartografía digital). Al delimitar y excluir los bordes de las áreas centrales en los parches de pequeño tamaño, o bien de forma alargada, se acusa una reducción en el número de las áreas centrales, mientras que en parches grandes dicho número aumenta. De ésta manera, el programa Fragstats, nos proporciona un indicador del tipo de configuración predominante en el paisaje, dado que, al registrarse una reducción significativa de las áreas centrales se pone en evidencia la presencia de un número importante de áreas pequeñas o bien alargadas, lo cual se interpretaría como una elevada abundancia de hábitats. Por ejemplo, en la vertiente norte se presentaron 9 parches de sabana conteniendo 6 áreas centrales (reduciéndose el

* En el mapa de cobertura actual los parches están identificados con la siguiente simbología: en el caso de la vegetación, la primera letra se refiere a la formación vegetal, la segunda a la altura de dosel y la tercera a la densidad de cobertura. En la formación de matorral, la segunda letra se refiere a la densidad de la cobertura. Las formaciones de sabana abierta (Sa) y subpáramo (Sp), sólo presentan el código distintivo de la formación. Para los usos, el código "U" corresponde al uso urbano, "Ac" y "Ar", a los usos agrícola y recreativo, respectivamente.

Tabla 2. Índices de Heterogeneidad Espacial por vertiente a nivel de clase de cobertura (parche).

CLASE DE COBERTURA	% VERTIENTE		NÚMERO DE PARCHES		TAMAÑO MEDIO DE PARCHES (ha)		DENSIDAD DE PARCHES $\left(\frac{\# \text{ parches}}{100\text{ha}}\right)$		NÚMERO DE ÁREAS CENTRALES		YUXTAPOSICIÓN E INTERMEZCLADO (%)	
	NORTE	SUR	NORTE	SUR	NORTE	SUR	NORTE	SUR	NORTE	SUR	NORTE	SUR
<i>Espinar ralo</i>	1,11	0	1	0	564,5	0	0,31	0	3	0	28,89	0
<i>Espinar denso</i>	11,38	0	7	0	781,14	0	1,7	0	7	0	65,52	0
<i>Matorral ralo</i>	0,94	4,03	1	2	476,5	607,88	0,24	1,11	1	2	26,54	61,05
<i>Matorral denso</i>	12,49	16,59	12	5	552,98	1000,65	3,2	3,65	11	10	79,42	86,47
<i>Bosque bajo ralo</i>	6,56	2,41	5	4	665,2	182,06	2,12	0,88	5	8	69,41	67,79
<i>Bosque bajo medio</i>	9,46	6,4	5	3	845,17	644	2,6	1,67	7	7	66,51	63,22
<i>Bosque bajo denso</i>	23,28	6,54	4	6	2950,81	328,83	3,67	0,68	10	5	60,91	65,97
<i>Bosque medio ralo</i>	0	3,43	0	2	0	517,38	0	0,87	0	2	0	45,95
<i>Bosque medio medio</i>	8,96	16,22	5	7	908,8	699	2,46	4,02	4	6	68,58	66,09
<i>Bosque medio denso</i>	22,5	27,23	12	10	927,38	821,35	4,79	5,16	16	9	68,65	79,1
<i>Sub-páramo</i>	0,18	0,55	2	1	45,88	166,75	0,11	0,3	1	2	0	0
<i>Sabana abierta</i>	0,68	4,98	0	8	38,33	187,78	0,38	2,7	6	10	56,92	67,03
<i>Uso urbano</i>	0	1,48	9	1	0	446,25	0	0,25	0	1	0	0
<i>Uso agrícola</i>	2,45	9,54	7	7	177,61	411,07	0,93	1,31	7	15	78,27	69,47
<i>Uso recreativo</i>	0	0,6	0	2	0	89,75	0	0,53	0	3	0	41,87

número de áreas centrales debido a la forma alargada característica de dicho tipo de cobertura vegetal). Para el análisis de la estructura se consideró el número de parches por clase de cobertura (Figura 5) y el tamaño medio del parche (Figura 6), así como el número de áreas centrales determinadas para cada tipo de cobertura, generadas con un borde de 50 m para el análisis de la cobertura vegetal (Figura 7). De ésta manera se puede detectar que el espinar ralo representado por 1 parche, contiene 3 áreas centrales. El espinar denso posee el mismo número de áreas centrales que de parches, al igual que el matorral ralo. En la vertiente norte las comunidades vegetales que tienen mayor número de áreas centrales, son las que tienen la mayor densidad de cobertura: matorral denso, bosque bajo denso y bosque medio denso. En la vertiente sur el matorral denso y las sabanas abiertas.

Otra medida que aporta valiosa información acerca de la configuración de la cobertura por unidad de área es el índice de densidad de parches (Figura 8), el cual expresa el número de parches por tipo de cobertura cada 100 ha. Altas densidades se esperan en áreas intervenidas y fragmentadas. En el Parque Nacional El Ávila (PNEA), la mayor densidad de parches se presenta en la cobertura de bosques medios en la vertiente sur, matorrales y sabana abierta. Por su parte en la vertiente norte la mayor densidad de bordes se asocia a bosques bajos y matorral denso, es decir las coberturas más intervenidas.

Por otra parte, se calculó otro índice de configuración explícitamente asociado a la ubicación espacial del parche en el conjunto del paisaje: el índice de forma (*shape*), en el que se evalúa la forma en todo el mosaico del paisaje, es decir a nivel de parche individual, a diferencia del análisis anterior donde los cálculos se realizan a nivel de clase de parche, considerando todos los parches que pertenecen a una misma clase de cobertura. Este índice, describe la complejidad de la forma del parche, comparado con un parche cuadrado, ya que se trabaja con imágenes raster (Forman 1998, Mc Garigal *et al.* 1998). El índice tiene un rango de 1, sin límite superior, a medida que aumenta el valor la forma es más irregular. Se calculó el Índice de Forma a nivel de parche en las dos vertientes, y se obtuvo un valor de forma para cada parche. Posteriormente se calcularon los percentiles 20, 40, 60, y 80 para constituir 5 clases de complejidad de formas (muy

baja, baja moderada, alta y muy alta), a fin de cartografiarlas y analizar los datos de ambas vertientes (Figura 3). En la vertiente norte el valor del índice de forma más alto (4,98) se registró en la cobertura de espinar denso y el resto de los valores muy altos, mayormente en las coberturas de bosque bajo denso. Los valores más bajos se asociaron al matorral denso, áreas agrícolas, parches de espinar denso aislados y rodeados de cobertura de sabana y sabana abierta. Los valores moderados se asocian a bosques medio bajo y bosque medio medio. En la vertiente sur los parches de muy baja complejidad de forma se corresponden con sabanas abiertas. Los valores bajos con el área urbana, un parche de bosque bajo denso contiguo a parches de sabana y un bosque cortado por el lindero y los valores moderados con áreas agrícolas y matorral. Los parches de alta y muy alta complejidad de forma se asocian a bosques medio medio y bosques medio denso.

Al combinar el análisis de la composición y configuración de la estructura del paisaje, emerge el análisis de la conectividad del paisaje. La conectividad por lo tanto, es el grado al cual todos los nodos del sistema son enlazados a través de corredores. Las conexiones tienen un rol fundamental en la dinámica ecológica entre hábitats. Provee una evaluación genérica de cómo puede ser el desplazamiento de los organismos a lo largo del paisaje (Sorrel 1997, Ochoa 1993).

El índice del vecino más cercano (*Near*): Índice de Cercanía, mide la distancia a la cual se encuentra otro parche del mismo tipo de cobertura, este permite establecer el grado de continuidad y cercanía de los parches de una misma categoría (McGarigal *et al.* 1998). También en este caso se realizaron los cálculos a nivel de parche individual y posteriormente se agruparon en clases para su análisis y representación cartográfica. A fin de representar el comportamiento espacial de la cercanía de los parches agrupamos los valores del vecino más cercano en cinco niveles de cercanía: muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto, determinados a partir de los percentiles 20, 40, 60, y 80, diferenciados para cada vertiente (Figura 4). La distancia media al vecino más cercano en la vertiente norte es de 2.522 m. En la vertiente norte la distancia media es de 6.320 m y la desviación estándar de la distancia es de 6.273 m, mientras que la dispersión de valores en

ANÁLISIS DE LA COBERTURA EN UN GEOSISTEMA MONTAÑOSO

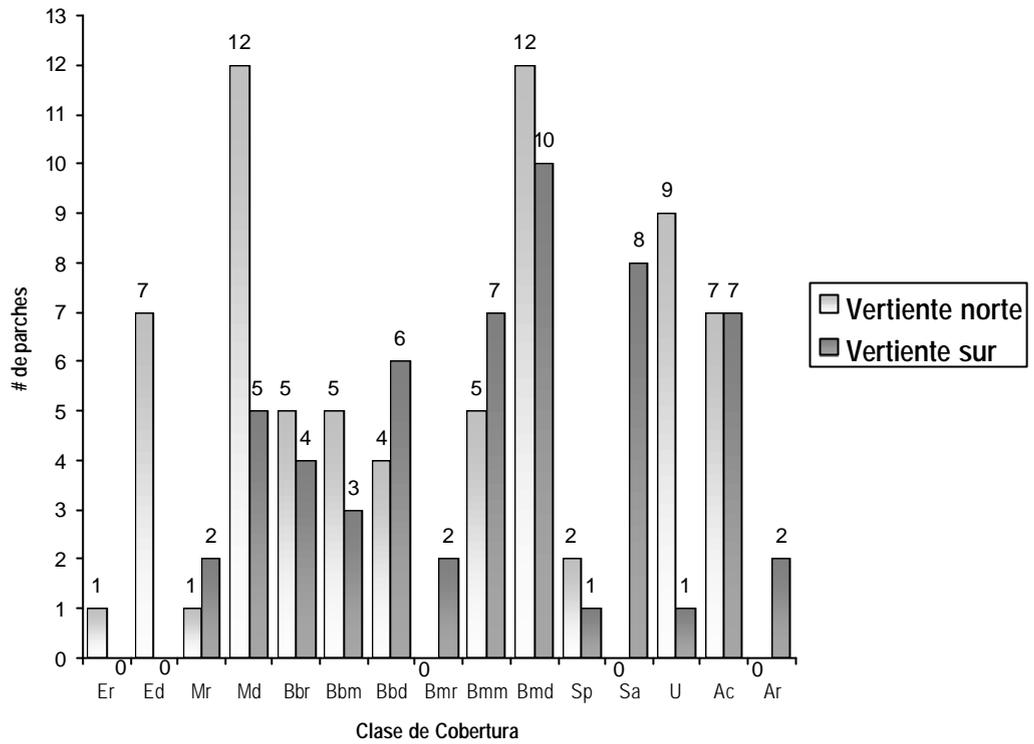


Figura 5. Histograma del número de parches por clase de cobertura, diferenciados por vertiente (Norte y Sur).

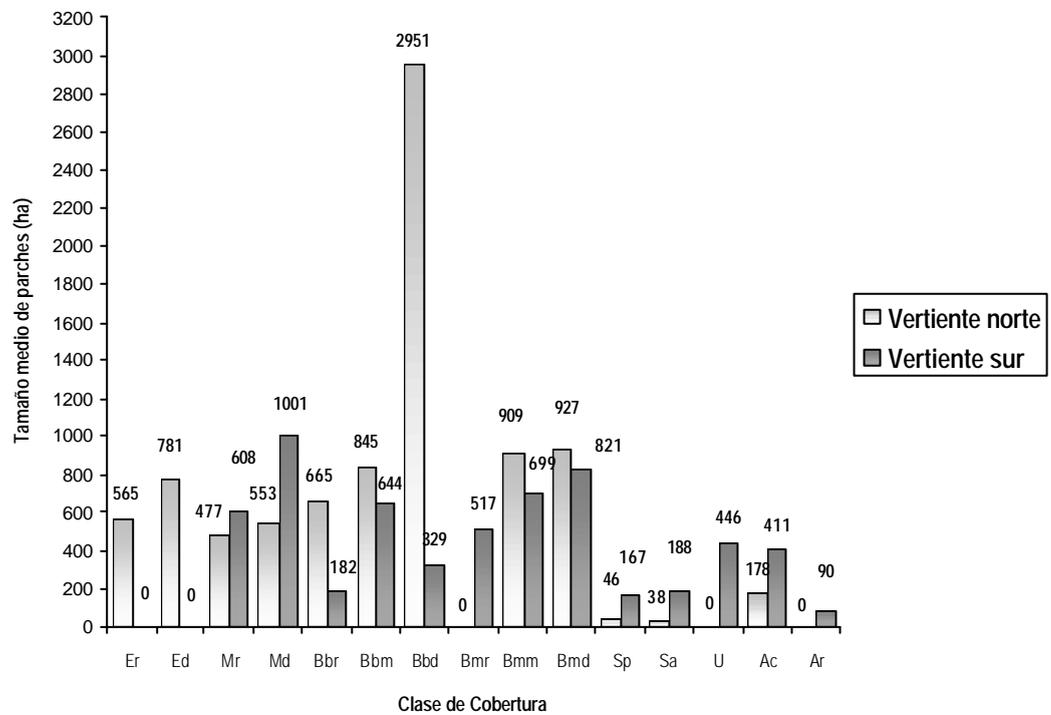


Figura 6. Histograma del tamaño medio de los parches por clase de cobertura, diferenciados por vertiente (Norte y Sur).

torno a la media en la vertiente sur es de 11.307 m. Estos datos revelan que existe menos fragmentación y mayor continuidad de las diferentes coberturas en la vertiente norte que en la vertiente sur. En la vertiente norte, la distancia al vecino más cercano muy baja se asocia a las coberturas de espinar y matorral ralo, bosque bajo medio, bosque medio medio y cobertura de sabanas. Las distancias bajas se relacionan con los bosque bajo medio, parches de bosque medio medio aislados y bosque bajo denso. Las categorías de moderada y alta cercanía se asocian a coberturas de bosque bajo denso y bosque medio denso, las muy altas a espinar tropical y sabana abierta, lo cual es consistente, dado que las sabanas en la vertiente norte se asocian a áreas agrícolas en focos de dispersión próximos. Las áreas agrícolas también presentan un índice de distancia al vecino más cercano alto por la misma causa citada, al igual que las coberturas de bosque bajo denso y bosque medio denso. En la vertiente sur, el índice de cercanía es muy bajo para el área urbana (aislado), parches de bosque bajo ralo y bosque bajo medio, así como áreas agrícolas rodeadas de bosque. Las sabanas se ubican en la categoría moderada del índice ya que el patrón de recurrencia de los eventos que dan origen a las sabanas se ubica en áreas próximas al lindero y parches alargados que se orientan con fuertes pendientes, característicos de la propagación de eventos de fuego. El bosque medio denso tiene un índice de cercanía muy alto y posee además una gran continuidad. Este patrón se aprecia justo al este de la ciudad de Caracas y en cotas fundamentalmente por encima de los 1.400 msnm.

Los índices de comunicación (contagion), describen la extensión a la cual los píxeles son agregados. El cálculo en Fragstats proporciona la suma de dos probabilidades. La probabilidad de que el píxel pertenezca a la cubierta *i*, equivalente a la representación proporcional del tipo de cubierta en el mapa, y la probabilidad condicional de que obteniendo un píxel de tipo *i* que una de las celdas adyacentes sea de tipo *j*. El algoritmo calculado en Fragstats, fue desarrollado por Li y Reynolds (1983) (en McGarigal *et al.* 1998). La vertiente norte presenta un índice de comunicación (contagion) superior (55,57) al de la vertiente sur (54,94), lo que expresa que es mayor la comunicación potencial entre parches en la vertiente norte que en la sur.

El índice de yuxtaposición e intermezclado (interspersion and juxtaposition), se refiere a la adyacencia de parches, mide la distancia a la cual los parches son entremezclados. Representa el grado de entremezclado observado y expresa el porcentaje (%) que será posible obtener, de acuerdo a todos los tipos de parches. La cobertura que esta más yuxtapuesta en ambas vertientes es la de matorral denso con aproximadamente un 80 % (.). (Figura 9). Las menos entremezcladas son el matorral ralo y el bosque bajo ralo. Todos los bosques tienen más de un 60 % de intermezclado. Las áreas agrícolas están más intermezcladas que la mayor parte de las coberturas de bosque en las dos vertientes.

CONCLUSIONES FINALES

La caracterización de la estructura del paisaje en sistemas montañosos tropicales, como ensayo metodológico, consistió en la interpretación geocológica de los hábitats, a partir de la aplicación de un conjunto de indicadores de la heterogeneidad del paisaje como expresión cuantitativa de los patrones espaciales de la cobertura vegetal. En tal sentido cabe precisar el significado de los distintos indicadores empleados:

(1) La composición permitió determinar la riqueza de vegetación como expresión de distintos hábitats.

(2) La forma y la localización relativa del parche, como expresión de la configuración del paisaje, hizo posible identificar los factores críticos en el mantenimiento de la abundancia y diversidad de especies.

(3) La diferenciación de las áreas centrales en cada uno de los parches, dado que el borde, como zona de transición o ecotono, posee características distintas al interior del parche o área central. Por ello, al registrarse una reducción significativa de las áreas centrales se pone en evidencia la presencia de un número importante de áreas pequeñas o bien alargadas, lo cual se interpretaría como una elevada abundancia de hábitats.

(4) La densidad de parches, cuyas altas densidades se esperarían encontrar en áreas intervenidas y muy fragmentadas.

(5) La forma del parche que describe su grado de complejidad en comparación con un cuadrado (píxel), cuya mayor irregularidad se asocia con un aumento del efecto de borde.

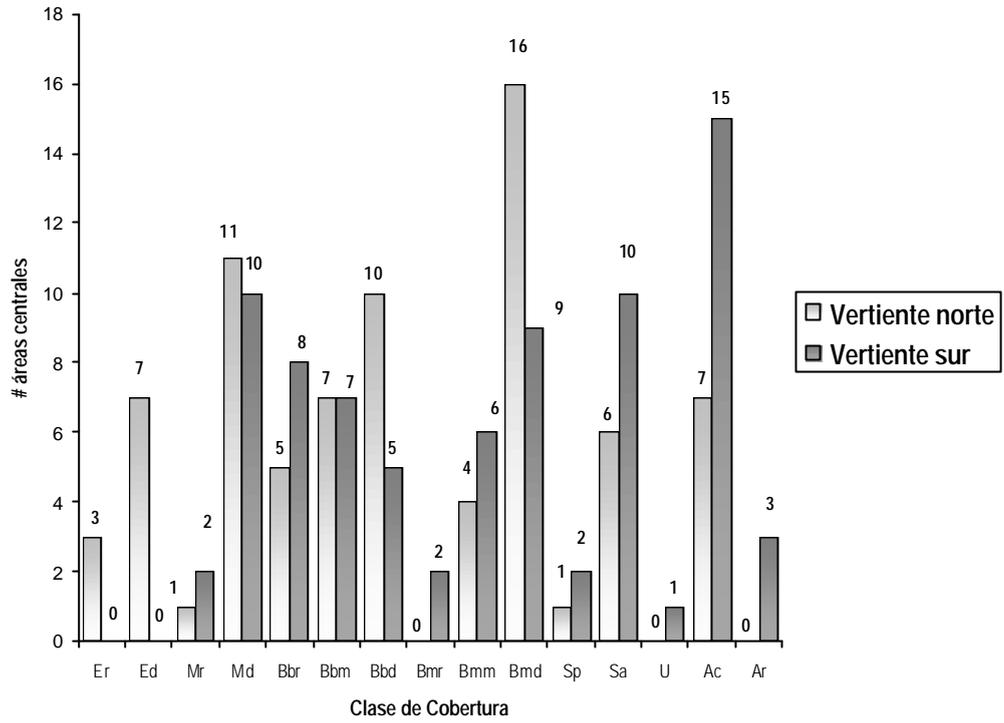


Figura 7. Histograma del número de áreas centrales de los parches por clase de cobertura, diferenciados por vertiente (Norte y Sur).

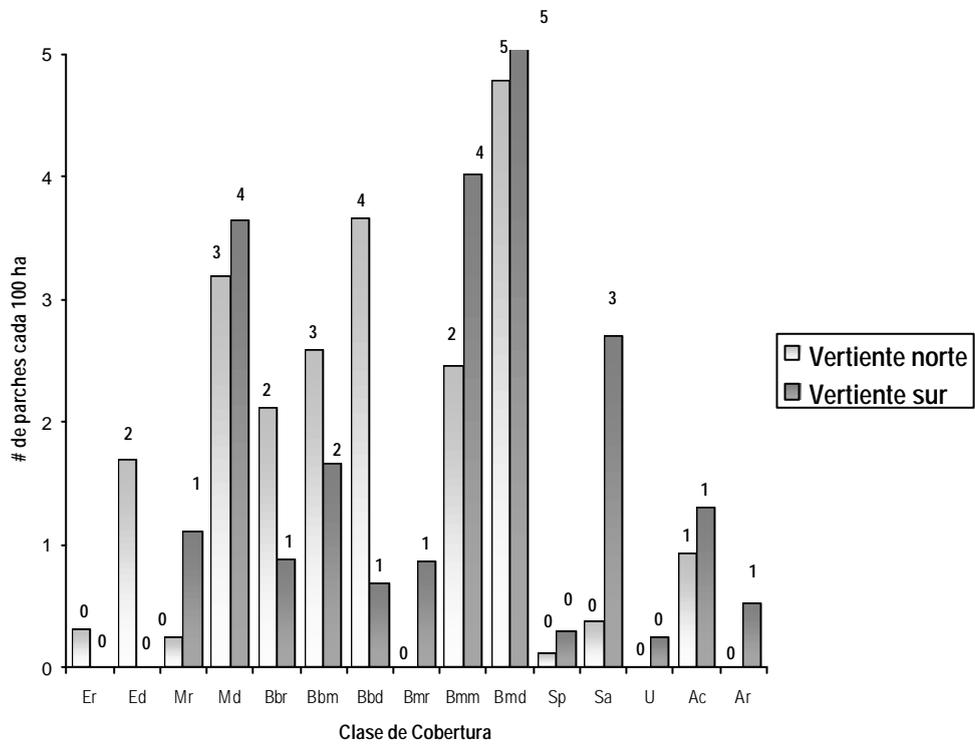


Figura 8. Histograma de la densidad de parches (número de parches por cada 100 hectáreas) por clase de cobertura, diferenciados por vertiente (Norte y Sur).

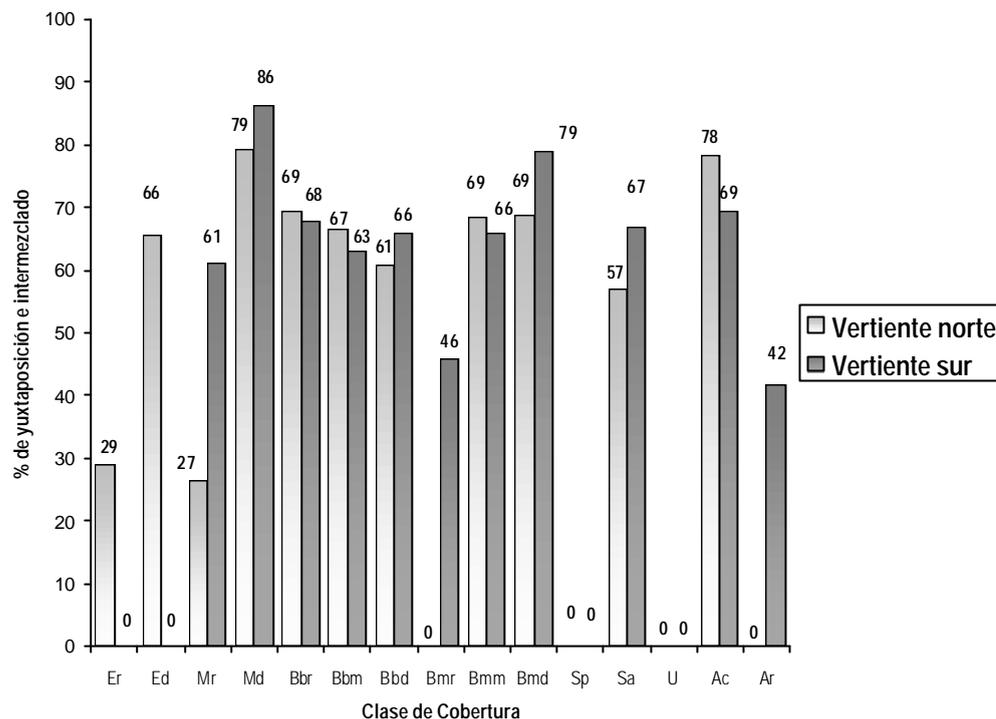


Figura 9. Histograma de los valores obtenidos en el índice de yuxtaposición e intermezclado de los parches por clase de cobertura, diferenciados por vertiente (Norte y Sur).

(6) La conectividad donde las conexiones poseen un rol fundamental en la dinámica ecológica entre hábitats, y provee una evaluación genérica de cómo puede ser el desplazamiento de los organismos a lo largo del paisaje.

(7) El vecino más cercano, donde la distancia al parche del mismo tipo de cobertura permite establecer el grado de continuidad y cercanía de los parches de una misma categoría.

(8) La comunicación, describe el nivel de agregación de los parches, cuya yuxtaposición referida a la adyacencia de parches, representa el grado de entremezclado los hábitats.

Los resultados de la interpretación geoecológica de los hábitats, a partir de la aplicación del conjunto de indicadores de la heterogeneidad del paisaje, indican que la vertiente norte del Parque Nacional El Ávila por su tamaño y configuración es más probable que cumpla con los objetivos de protección de biodiversidad a nivel de ecosistema y hábitat que la vertiente sur. El análisis de la configuración muestra que el mayor número de áreas centrales y por ende de disponibilidad de hábitats es mayor en la vertiente norte. Por otra parte exhibe la mayor vulnerabilidad a regímenes

de perturbación y efectos de borde de la vertiente sur, derivada de su morfología y contexto geográfico. La densidad de bordes de las coberturas de bosque medios, matorrales y sabanas, están influenciadas por sostenidos procesos de intervención antrópica. En la vertiente norte los bosques bajos son los que presentan mayor densidad de borde y están asociados a contextos agrícolas. La conectividad de hábitats es mayor en la vertiente norte ya que se agregan a una distancia media de 4 km menos que en la vertiente sur. Los índices de comunicación (contagion) y yuxtaposición e intermezclado, proporcionan una visión amplia de las características espaciales de los patrones de cobertura vegetal, integrando composición, configuración y conectividad probable de hábitats.

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.

LITERATURA CITADA

- ARGIS, C., J. BISSONTE y J. DAVID. 1998. The behavior of landscape metrics commonly used in the study of habitat fragmentation. *Landscape Ecology* 13:167-186.
- FORMAN, R. 1995. Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape Ecology* 10(3):133-142.
- FORMAN, R. 1998. *Land Mosaics. The ecology of landscapes and regions.* Cambridge University Press. Cambridge.
- FORMAN, R. y M. GODRON. 1986. *Landscape Ecology.* John Wiley & Sons, New York.
- FROHN, R. 1998. *Remote sensing for landscape ecology.* Lewis Publishers.USA.
- GONZÁLEZ-BERNÁLDEZ, F. 1981. *Ecología y Paisaje.* Ediciones Blume, Madrid.
- INPARQUES. 1983. *Mapa del Parque nacional El Ávila.* Escala 1:50.000. Dirección de Parques Nacionales. Caracas.
- McGARIGAL, K. y B.J. MARKS. 1994. *FRAGSTATS 2.0 Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure.* Oregon State University, Corvallis, EE.UU.
- McGARIGAL, K., J. BERRY y D. BUCKLEY. 1998. *Fragstats Manual.* USDA. <http://www.blaze.innovativegis.com/products/Fragstatsarc/manual/manpref.htm>.
- MEZA, J. 1996. Memoria descriptiva del mapa de vegetación de “El Parque Nacional El Ávila” Distrito Federal y Estado Miranda. Escala 1:100.000. M.A.R.N.R. Serie Informes Técnicos DGSIA/IT/356.
- OCHOA, J. 1993. *Diseño de corredores de vida silvestre en bosques productores de maderas de la Guayana venezolana.* Memorias del Taller: Corredores de vida silvestre en Centroamérica. The Wildlife Society’s International Wildlife Management Congress. Heredia, Costa Rica.
- PEARCE, C. M. 1992. Pattern analysis of forest cover in southwestern Ontario. *The great Lakes Geographer* 27: 65-76.
- RITTERS, K., R. O’ NEILL, J. WICKHAM y B. JONES. 1996. A note on contagion Indices for landscape analysis. *Landscape Ecology* 11(4):197-202.
- SORRELL, J. 1997. Using geographic information systems to evaluate forest fragmentation and identify wildlife corridor opportunities the Catarauqui watershed. Faculty of Environmental Studies. York University, Downsview, Ontario, Canada. http://www.terra-plex.com/epub/pub_sor/html
- TURNER, M. y R. GARDNER. 1990. *Quantitative Methods in Landscape Ecology. Analysis and interpretation of Landscape Heterogeneity.* Vol 82. Springer-Verlag.

Recibido 03 de noviembre de 1999; revisado 09 de junio de 2000; aceptado 18 de septiembre de 2001