

Análisis multitemporal y de la estructura horizontal de la cobertura de la tierra: Parque Nacional Yacambú, estado Lara, Venezuela*

Análise multitemporal e da estrutura horizontal da cobertura da terra: Parque Nacional Yacambú, estado Lara, Venezuela

Multi-temporal Remote Sensing and Structural Analysis of the Land Cover: Yacambú National Park, State of Lara, Venezuela

Gladys Z. Molina**

Universidad de los Andes, Venezuela

Anderson J. Albarran***

Fundación Instituto de Ingeniería para la Investigación y Desarrollo Tecnológico, Venezuela

Resumen

Para determinar el estado de conservación de las coberturas de la tierra del Parque Nacional Yacambú para el periodo 2000-2008, se realizó un análisis de su estructura horizontal considerando su evolución temporal y composición estructural. La evolución temporal, lograda a partir de la superposición de mapas de cobertura obtenidos de imágenes de satélite, reveló que se presenta un alto grado de conservación de las coberturas en áreas distantes a las vías de acceso y una importante afectación, por expansión de la frontera agrícola, en las áreas limítrofes. La composición estructural, obtenida a través del cálculo de índices estructurales, apunta a procesos de fragmentación en algunas coberturas naturales.

Palabras clave: análisis estructural, análisis multitemporal, cobertura de la tierra, imágenes de satélite, Parque Nacional Yacambú.

Resumo

Para determinar o estado de conservação da cobertura da terra do Parque Nacional Yacambú no período de 2000 a 2008, realizou-se uma análise de sua estrutura horizontal, considerando sua evolução temporal e composição estrutural. A evolução temporal, obtida a partir da sobreposição de mapas de cobertura de imagens de satélite, revelou que ele tem um alto grau de conservação da cobertura em áreas afastadas das estradas, afetando, por expansão da fronteira agricultura, as áreas limítrofes. A composição estrutural, obtida por meio do cálculo de índices estruturais, aponta para processos de fragmentação em algumas coberturas naturais.

Palavras-chave: análise estrutural, análise multitemporal, cobertura do solo, imagens de satélite, Parque Nacional Yacambú.

Abstract

An analysis of the horizontal structure of the land covers of Yacambú National Park was carried out in order to determine its conservation conditions during the period 2000-2008, taking temporal evolution and structural composition into account. The temporal evolution, achieved by overlaying cover maps obtained from satellite images, revealed the existence of a high degree of cover conservation in areas distant from access roads and an important deterioration in the bordering areas due to the expansion of the agricultural frontier. The structural composition obtained from calculating structural indexes point to fragmentation processes in some natural covers.

Keywords: multi-temporal analysis, structural analysis, land cover, satellite images, Yacambú National Park.

RECIBIDO: 25 DE ENERO DEL 2012. ACEPTADO: 4 DE JULIO DEL 2012.

Artículo de investigación sobre el estado de conservación actual de las coberturas que definen la totalidad del Parque Nacional Yacambú en el 2000 y 2008.

* Esta investigación usó parcialmente aspectos metodológicos derivados del proyecto código FO-560-04-01-AA, titulado Sustentabilidad de los Paisajes Andinos de Venezuela: el Agua como Servicio Ambiental, financiado por el Consejo de Desarrollo Científico Humanístico, Tecnológico y de las Artes (CDCHT) de la Universidad de Los Andes, Venezuela.

** Dirección postal: Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela de Geografía. Apartado postal 5101 Mérida, Venezuela.

Correo electrónico: gmolina@ula.ve

*** Dirección postal: Fundación Instituto de Ingeniería para Investigación y Desarrollo Tecnológico, Centro de Procesamiento Digital de Imágenes. Apartado Postal 40200 Caracas, 1040-A, Venezuela.

Correo electrónico: aalbarran@fii.gob.ve

Introducción

En el contexto mundial, los cambios socioeconómicos ocurridos durante las últimas décadas del siglo XX y primera del siglo XXI han producido numerosas alteraciones ambientales a diferentes escalas sociotemporales, que han modificado la estructura y funcionamiento de los ecosistemas y afectado negativamente la biodiversidad a un ritmo sin precedentes (Bevilacqua, Cárdenas y Medina 2006, 50-58; Vitousek 1994, 1861-1862). Entre los cambios más destacados resaltan los que ocurren en los usos del suelo, en las coberturas vegetales prístinas silvestres, el cambio climático, el aumento en las concentraciones de CO₂, los cambios en el ciclo biogeoquímico del nitrógeno, la extinción de especies de flora y fauna, entre otros (Thuiller 2007, 550-52; Valecillos 2009; Vitousek 1994, 1862-1863).

Por las razones expuestas, cada día más países en el mundo incorporan la conservación de recursos en su política ambiental como mecanismo que permita mantener las tasas de renovación de los recursos. Las tendencias actuales apuntan incluso a incluir las dimensiones ecológicas —relacionadas con los cambios, estructura y funcionamiento de los ecosistemas— de manera transversal en los planes de ordenación local, regional y nacional (Zoltan 2010). Venezuela no escapa de esta tendencia, y tiene actualmente aproximadamente el 55% de su territorio sometido a figuras de protección especial. Estas áreas se llaman Áreas Bajo Régimen de Administración Especial —en adelante, ABRAE— y están consagradas en el artículo 15 de la “Ley orgánica para la ordenación del territorio” (Congreso de la República de Venezuela 1983).

En este contexto, los procesos de transformación de los usos del suelo han sido abordados desde diferentes perspectivas y enfoques. Actualmente, uno de los enfoques conceptuales y metodológicos lo constituye la ecología del paisaje, cuyo objetivo es el de conocer la estructura espacial, el cambio y la función en el paisaje, considerando el desarrollo y dinámica de la heterogeneidad espacial, las interacciones espaciales, temporales, y los intercambios a través de los paisajes, la influencia de la heterogeneidad espacial en los procesos bióticos y abióticos y el manejo de esta heterogeneidad espacial (Bridgewater 1993, 27-30).

La dimensión estructural del paisaje enfatiza aspectos como la fragmentación y las formas dominantes dentro del contexto de la matriz del paisaje. En este sentido, vale destacar los trabajos realizados por Dramstad,

Olson y Forman (1996), Forman (1995), Forman y Godron (1986), Gallego (2003), Mas Causse et ál. (2001), Morláns (2000), Oyola Vergel (2009), Risser (1987), San Vicente (2003), Turner y Gardner (1991), Turner, Gardner y O’neill (1995), Triviño Pérez, Soler Capdepón y Vicedo Maestre (2007) y Zoltan (2010), en los cuales se establece que la incidencia de los procesos de fragmentación de hábitats naturales y seminaturales y la pérdida de conectividad de las poblaciones silvestres que estos albergan depende de una serie de factores y procesos interactuantes. Dichos autores ponen especial énfasis en señalar que la reducción y creciente separación espacial de los hábitats presentes en un territorio se relacionan con la disminución en la abundancia, la distribución y la viabilidad de las poblaciones de organismos estrechamente ligados a los ambientes fragmentados. Así, los procesos de fragmentación de hábitat afectan de manera especialmente directa a especies de elevado interés conservacionista con exigentes requerimientos de hábitat. Vila i Subirós et ál. (2006) destacan que los métodos cuantitativos en ecología del paisaje, es decir los cálculos referidos a la superficie, la forma, el número y la disposición de los elementos que componen un determinado paisaje, dan información numérica sobre la situación de la estructura paisajística, siendo una estructura que informa sobre las características morfológicas del paisaje y que, al mismo tiempo, aporta información clave sobre las condiciones y los procesos ecológicos.

Por su parte, la dimensión temporal de los paisajes permite, a través del establecimiento de comparaciones entre momentos históricos diferentes, precisar el estado pasado y actual de determinados paisajes, lo que marcará la evolución del paisaje en el tiempo. En este sentido se destacan los trabajos de Altuve Sánchez y Calderón Dávila (2009), Arias Zerpa (2005), Becerra (2006), Escalante (2007), Márquez (2011), Molina (2005), Molina y Chuvieco (1997) Molina y Rivas (2007), Molina Trigos (2009), Ramírez (2007) y Rodríguez (2009), entre otros, que utilizan imágenes de satélite o fotografías aéreas para generar mapas de cobertura de la tierra para dos o más momentos que, posteriormente, por superposición entre pares permiten definir y cuantificar los cambios existentes en dichas coberturas. Estas investigaciones concluyen, desde la perspectiva temporal, que, para el caso concreto de las ABRAE localizadas en los Andes Venezolanos, existe un importante deterioro de las coberturas naturales, traducido en pérdidas significativas y degradación de hábitats naturales que favorece la expansión de las fronteras agrícolas.

Considerando lo expuesto, fue del interés de los investigadores plantear este trabajo, que pretende abordar —considerando las dimensiones estructural y temporal planteadas en el enfoque de la ecología del paisaje— el estado de conservación actual de las coberturas que definen la totalidad del Parque Nacional Yacambú. Así, la dimensión temporal permite evaluar la permanencia espacial de las diferentes coberturas y las tendencias de cambio considerando dos momentos: 2000 y 2008, mientras que la dimensión estructural revela el comportamiento mostrado por los parches que definen cada cobertura en cuanto a formas, tamaños, densidad y proximidad, aspectos que indican tendencias a la fragmentación, a la conectividad o a la dispersión de las coberturas presentes en el parque. Estos aspectos se consideran de gran relevancia por cuanto para el Parque Nacional Yacambú se señala, en su Decreto de creación 771 del 12 de junio de 1962, que el objetivo fundamental de su creación es preservar y conservar muestras relevantes y representativas de los ecosistemas y paisajes de las estribaciones finales de la cordillera andina venezolana, correspondiente a una importante porción de la Sierra de Portuguesa

(Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas —en adelante, IVIC— y Centro Internacional de Ecología Tropical —en adelante, CIET— 2006). Adicionalmente, ha de tenerse en consideración que el resguardo de áreas naturales, como política de conservación, representa: a) una medida de contención de la intervención antrópica en áreas de valor estratégico, y b) una condición que regula y desacelera los cambios espaciales de origen antrópico (Rivas 2012).

Materiales y métodos

El área de estudio corresponde con la totalidad del Parque Nacional Yacambú, ubicado en el municipio Jiménez, estado Lara, en la vertiente sur de la Sierra de Portuguesa, la cual forma parte de las estribaciones montañosas finales de la cordillera de los Andes en Venezuela. Astronómicamente está ubicado aproximadamente entre las siguientes coordenadas, que definen sus puntos extremos: norte: $9^{\circ} 47' 55''$ LN y $69^{\circ} 37' 12''$ LW, sur: $9^{\circ} 32' 30''$ LN y $69^{\circ} 50' 00''$ LW, este: $9^{\circ} 46' 36''$ LN y $69^{\circ} 28' 32''$ LW, y oeste: $9^{\circ} 33' 56''$ LN y $69^{\circ} 51' 05''$ LW (figura 1). Actualmente ocupa una superficie de 24.879 ha.

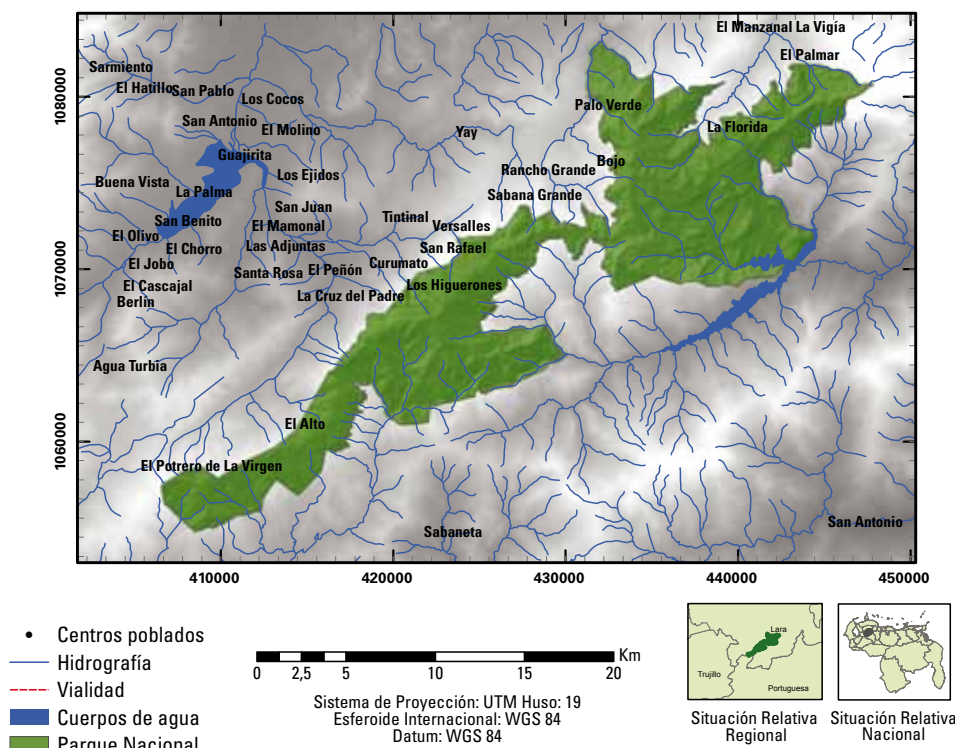


Figura 1. Localización del Parque Nacional Yacambú.
 Fuente: modificado parcialmente de IVIC-CIET 2006.

El parque presenta un relieve abrupto con numerosas gargantas, condición característica de esta región de la cordillera Andina, cuya altitud varía entre los 500 y los 2.280 msnm. Esta variabilidad altimétrica y su ubicación geográfica —en las estribaciones de la cordillera Andina y al noroeste de los llanos venezolanos— hacen de Yacambú un lugar en donde pueden encontrarse especies de distribución andina, llanera y de la cordillera de la costa (Aponte y Salas 2003, 1-4).

Aspectos metodológicos

El esquema presentado en la figura 2 muestra de forma resumida los diferentes aspectos metodológicos considerados para cumplir con el objetivo planteado en esta investigación: determinar el estado de conservación del Parque Nacional Yacambú a partir de un análisis multitemporal de sus coberturas y del cálculo de algunos índices estructurales. Aspectos importantes a destacar del esquema señalado son:

- Recopilación de información bibliográfica y cartográfica*, que permitió realizar la sustentación teórica relacionada con el enfoque de la ecología del paisaje, compilar los antecedentes relacionados con la aplicación de las técnicas, realizar la descripción del área de estudio, seleccionar las cartas topográficas a escala 1:100.000 y seleccionar las imágenes de satélite a utilizar.
- Procesamiento de las imágenes de satélite* (Landsat 5 del 25 de septiembre del 2000 y SPOT 5 del 28 de ene-

ro del 2008), cuya selección estuvo condicionada por la cobertura de nubes (< 10%) y por su disponibilidad en el Centro de Procesamiento Digital de Imágenes. Este procesamiento consistió en:

- Corregir geoméricamente las imágenes. Para ello, en primer lugar, se siguió la secuencia metodológica definida por Chuvieco (1996, 255-260). Así, en primer lugar, se tomaron los puntos de control —en adelante, PC—, considerando aspectos relacionados con su número, calidad y distribución. Por tratarse de una corrección mapa-imagen, se usó la cartografía topográfica oficial a escalas 1:100.000 y 1:25.000. En segundo lugar, se calcularon las funciones de transformación (función de primer grado) a partir de los PC seleccionados, aquí se aceptó un error longitudinal medio inferior a un pixel (30 m para las imágenes con salida a escala 1:100.000 y 10 m para la imagen con salida a escala 1:25.000). Finalmente, se realizó la transferencia de los niveles digitales originales a su nueva posición utilizando el método de convolución cúbica.
- Seleccionar las tres bandas más adecuadas para una interpretación visual de la cobertura de la tierra. Para la imagen Landsat 5 fueron seleccionadas las bandas 4 (IRC), 5 (IRM) y 3 (verde-visible), y para la imagen SPOT 5 las bandas 3 (IRC), 4 (IRM-L SWIR) y 2 (rojo-visible). Sobre ambas imágenes fueron aplicadas técnicas de mejoramiento visual por expansión lineal de contraste.
- Construcción de los mapas de cobertura de la tierra*, para ello se utilizó la técnica de interpretación

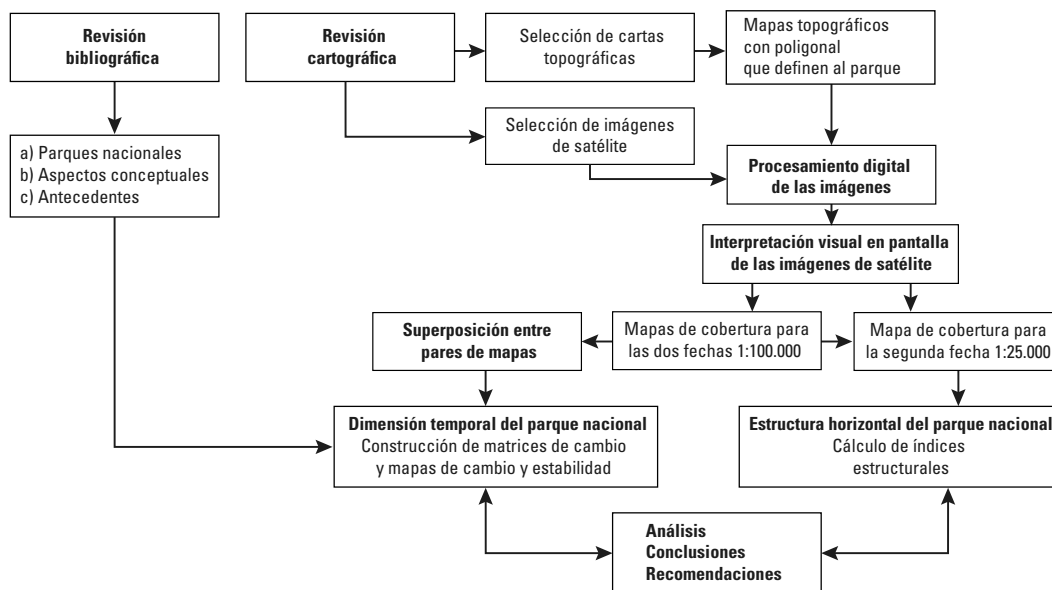


Figura 2. Esquema metodológico. Datos: proceso investigativo 2010.

visual en pantalla de las imágenes de satélite, siguiendo parámetros clave de interpretación (tono, textura, forma y patrón espacial) definidos por Chuvieco (1996, 165-167), apoyándose en la capacidad visual interpretativa y el conocimiento del área por parte de los investigadores. Previo al trabajo de interpretación, se realizó una salida de campo al área de estudio que permitió el reconocimiento de las diferentes categorías de cobertura y sus patrones característicos en las imágenes. Los mapas obtenidos para la segunda fecha (2008) fueron validados y ajustados a partir de la toma de puntos de control en una segunda salida de campo, para lo cual se utilizó un GPS diferencial.

- d. *Análisis multitemporal*, técnica de análisis espacial que se obtuvo a partir de la superposición (*overlay*) de los mapas, en formato *raster*, previamente elaborados a escala 1:100.000. Para ello, se usó el programa ERDAS IMAGINE, versión 9.1, opción MATRIX, que permitió la generación de una matriz de cambio y la elaboración de un mapa de distribución de los cambios. Tanto la matriz como el mapa permitieron evaluar, cuantitativa y cualitativamente, la dinámica espacial ocurrida en las distintas coberturas presentes en el parque nacional.
- e. *Análisis estructural de las coberturas*, se realizó a partir del cálculo de índices estructurales, que, según Gustafson (1998) (citado por Vila i Subirós et ál. 2006), aportan interesantes datos numéricos sobre la composición y la configuración de los paisajes, y permiten una útil e interesante comparación entre distintas configuraciones paisajísticas. Así, sobre el mapa de cobertura a escala 1:25.000, se calcularon los siguientes índices: *Area* (calcula el área correspondiente a cada uno de los fragmentos), *Class area* (calcula el área correspondiente al conjunto de fragmentos que constituyen una clase determinada), *Number of patches* (calcula el número de fragmentos totales y el número de fragmentos de cada clase), *Patch density* (calcula el número de fragmentos de cada clase por unidad de superficie), *Shape index* (calcula la complejidad de la forma de los fragmentos en comparación con una forma estándar), *Landscape shape index* (calcula la relación entre área y perímetro para el conjunto del paisaje), *Proxim* (calcula la distancia más corta en línea recta entre el parche central y su vecino más próximo de la misma clase), *Shannon's diversity index*, (valora la diversidad paisajística, es decir, la heterogeneidad, a partir de la diversidad de fragmentos).

Algunos índices a nivel de paisaje fueron calculados sobre los mapas a 1:100.000:

El programa utilizado para el cálculo de estos índices fue Fragstats, creado en 1995 y desarrollado por el Dr. Kevin McGarigal y Barbara Marks en la Universidad Estatal de Oregón; funciona esencialmente en formato raster, y es considerado el programa más completo en lo que se refiere a la diversidad y capacidad para desarrollar cálculos métricos. Se trata de un programa de acceso libre disponible en la red, en donde pueden observarse los fundamentos matemáticos que sustentan cada índice calculado (University of Massachusetts s.f.).

$$AREA = a_{ij} \left(\frac{1}{10.000} \right)$$

$$SHAPE = \frac{P_{ij}}{\min P_{ij}}$$

$$CA = \sum_{j=i}^n a_{ij} \left(\frac{1}{10.000} \right)$$

$$LSI = \frac{e_i}{\min e_i}$$

$$NP = n_i$$

$$EEN = h_{ij}$$

$$PD = \frac{n_i}{A} (10.000) (100)$$

$$SHDI = - \sum_{i=1}^m (P_i * \ln P_i)$$

a_{ij} = área (m²) del fragmento ij .

n_i = número de parches en el paisaje de cierto tipo (clase).

A = área total del paisaje (m²).

e_i = total de la longitud de borde (perímetro) que envuelve a la clase correspondiente, expresada en número de celdas.

h_{ij} = distancia (m) desde el parche ij al vecino más próximo de la misma clase, basado en la distancia borde a borde, calculado desde el centro de celda hasta otro centro de celda.

P_{ij} = proporción del paisaje ocupado por un tipo de parche.

Resultados

A continuación se presentan los resultados más relevantes obtenidos en la investigación.

Mapas de cobertura

De la interpretación visual realizada en pantalla sobre las imágenes de satélite de las dos fechas (Landsat 2000 y SPOT 2008) —con tolerable correspondencia geométrica y con píxel de salida de 30 m— se produjeron dos mapas de cobertura de la tierra a escala 1:100.000. Adicionalmente se generó un mapa de cobertura de la tierra a escala 1:25.000 a partir de la imagen SPOT. Estos mapas se muestran en las figuras 3, 4 y 5.

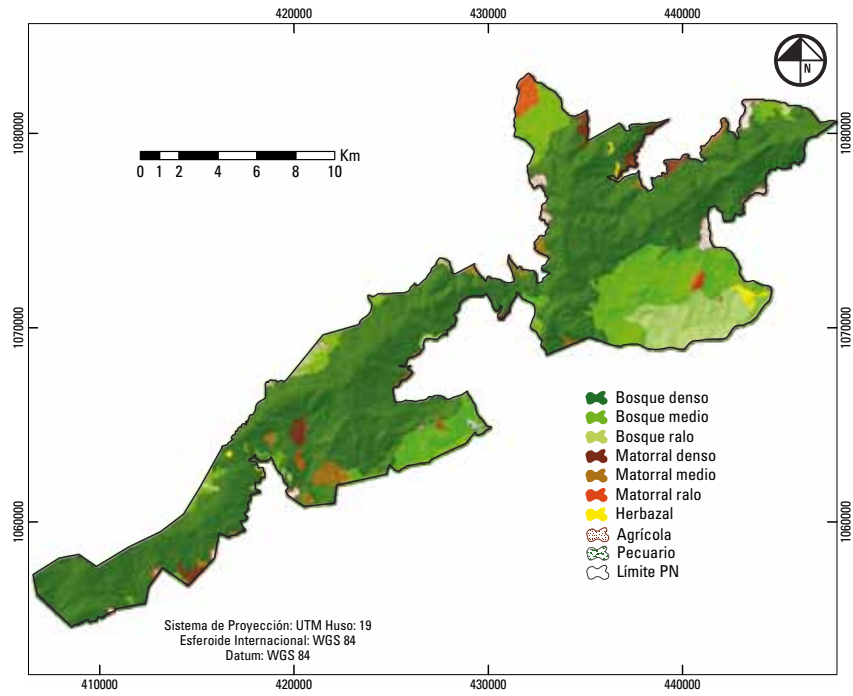


Figura 3. Mapa de cobertura de la tierra 1:100.000.
Datos: imagen Landsat 5, composición RGB 453, septiembre 2000.
Nota: interpretación visual a escala 1:100.000, resolución espacial de 30 m.

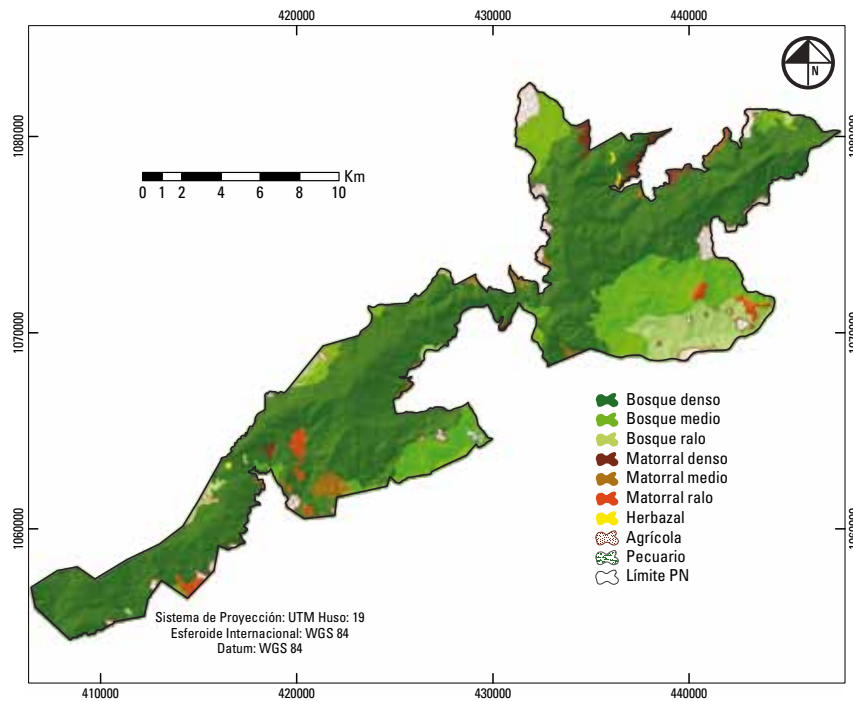


Figura 4. Mapa de cobertura de la tierra 1:100.000.
Datos: imagen SPOT 5, composición RGB 321, enero 2008.
Nota: interpretación visual a escala 1:100.000, resolución espacial de 30 m.

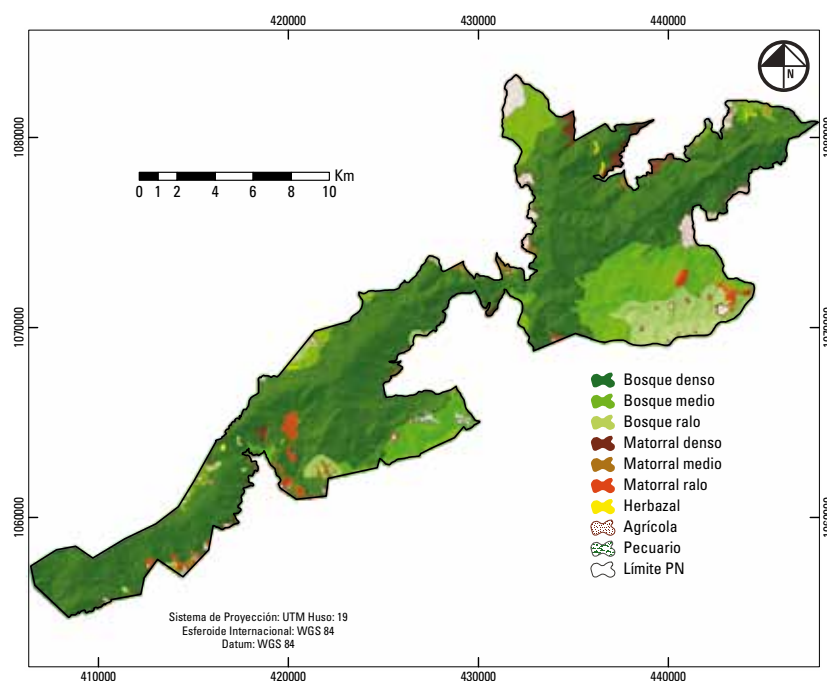


Figura 5. Mapa de cobertura de la tierra 1:25.000.
 Datos: imagen SPOT 5, composición RGB 321, enero 2008.
 Nota: interpretación visual a escala 1:25.000, resolución espacial de 10 m.

La dimensión temporal en el Parque Nacional Yacambú

Para obtener la dimensión temporal se utilizó un procedimiento de análisis espacial que consiste en la superposición, píxel a píxel, entre los pares de mapas de cobertura a escala 1:100.000 obtenidos en la fase anterior. Esta técnica permitió obtener, a partir de la construcción de la matriz de cambios (tablas 1 y 2) y de la

elaboración del mapa de cambio y estabilidad (figura 6), las coberturas que experimentaron cambios y las que permanecieron invariables espacialmente en el periodo analizado.

Las categorías definidas y señaladas en las tablas son: bosque denso (Bd), bosque medio (Bm), bosque ralo (Br), matorral denso (Md), matorral medio (Mm), matorral ralo (Mr), herbazal (Hb), agrícola (Ag) y pecuario (Pc).

Tabla 1. Matriz de cambios (has).

	Bd	Bm	Br	Md	Mm	Mr	Hb	Ag	Pc	Total (2000)
Bd	17.402,3	0,00	0,00	0,00	0,00	1,89	0,00	70,74	0,00	17.474,94
Bm	0,00	4.119,1	104,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4.224,06
Br	0,00	0,00	1.375,1	4,68	0,00	15,30	0,00	138,96	0,00	1.534,05
Md	0,00	0,00	0,00	245,5	0,00	171,45	0,00	0,00	0,00	416,97
Mm	0,00	0,00	0,00	31,05	301,23	21,60	0,00	79,92	0,00	433,80
Mr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	110,07	0,00	185,76	0,00	295,83
Hb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	88,74	27,45	0,00	0,00	116,19
Ag	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	354,60	0,00	354,69
Pc	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,81	27,81
Total (2008)	17.402,31	4.119,12	1.480,05	281,25	301,23	409,05	27,54	829,98	27,81	24.878,35

Datos: superposición de mapas de cobertura a partir de las imágenes Landsat 7 y SPOT 5.

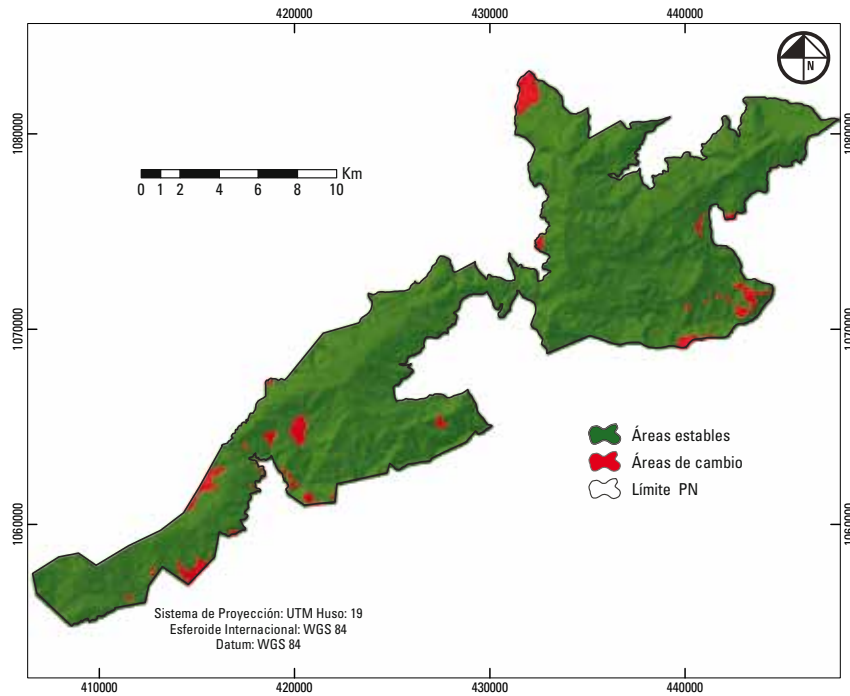


Figura 6. Mapa de áreas estables y áreas de cambio

Datos: imagen Landsat 5, composición RGB 453, septiembre 2000, e imagen SPOT 5, composición RGB 321, enero 2008.

Nota: reclasificación de matriz de cambios 2000-2008, interpretación visual a escala 1:100.000 con resolución espacial de 30 m.

Tabla 2. Diferencia entre coberturas (has).

Coberturas	SPOT (2008)	Landsat (2000)	Diferencia
Bd	17.402,31	17.474,94	-72,63
Bm	4.119,12	4.224,06	-104,94
Br	1.480,05	1.534,05	-54
Md	281,25	416,97	-135,72
Mm	301,23	433,8	-132,57
Mr	409,05	295,83	113,22
Hb	27,54	116,19	-8,65
Ag	829,98	354,69	475,29
Pc	27,81	27,81	0

Datos: superposición de mapas de cobertura a partir de las imágenes Landsat 7 y SPOT 5.

Análisis de la dimensión temporal

La matriz en hectáreas (tabla 1) muestra en su diagonal las áreas donde no hubo espacialmente cambios entre pares de categorías, mientras que el resto de las celdillas señalan las coberturas que experimentaron cambios y la dirección de los mismos. Es importante recordar que la matriz da la siguiente lectura: qué de lo que existía mantiene la misma posición espacial y en qué proporción. Así:

- El bosque denso (Bd) mantiene espacialmente inalterada entre las dos fechas una superficie de 17.402,31 has, equivalente al 99,58%. Las pocas áreas de cambio fueron sustituidas principalmente por las coberturas agrícola y matorral ralo.
- El bosque medio (Bm) mantiene inalterada entre las dos fechas una superficie de 4.119,12 has, equivalente al 97,52%. Las áreas de cambio fueron sustituidas en su totalidad por la cobertura bosque ralo.
- El bosque ralo (Br) mantiene inalterada entre las dos fechas una superficie de 1.375,11 has, equivalente al 89,64%. Las áreas de cambio fueron sustituidas principalmente por las coberturas agrícola, matorral ralo y matorral denso.
- El matorral denso (Md) mantiene inalterada entre las dos fechas una superficie de 245,52 has, equivalente al 58,88%. Las áreas de cambio fueron sustituidas en su totalidad por matorral ralo.
- El matorral medio (Mm) mantiene inalterada entre las dos fechas una superficie de 301,23 has, equivalente al 69,44%. Las áreas de cambio fueron sustituidas principalmente por las coberturas agrícola, matorral denso y matorral ralo.
- El matorral ralo (Mr) mantiene inalterada entre las dos fechas una superficie de 110,07 has, equivalente

al 37,21%. Las áreas de cambio fueron sustituidas en su totalidad por la cobertura agrícola.

- El herbazal (Hb) mantiene inalterada entre las dos fechas una superficie de 27,45 has, equivalente al 23,63%. Las áreas de cambio fueron sustituidas en su totalidad por matorral ralo.
- La cobertura agrícola (Ag) mantiene inalterada espacialmente entre las dos fechas una superficie de 354,60 has, equivalente al 99,97%. La poca superficie de cambio (0,3%) fue sustituida principalmente por la cobertura matorral ralo.
- La cobertura pecuario (Pc), cuya superficie inicial era 27,81 has, mantiene inalterada entre las dos fechas el total de su superficie.

Otra forma de obtener información de esta matriz es utilizando la superficie total de cada cobertura para cada fecha sin considerar la distribución espacial, como lo hace la matriz de cambio. De esta manera, realizando una sustracción se puede observar si las coberturas perdieron o ganaron superficie y en qué cantidad (tabla 2). Aquí se encontró que las coberturas que perdieron superficie entre los años analizados fueron: bosque denso (-72,63 has), bosque medio (-104,94 has), bosque ralo (-54 has), matorral denso (-135,72has), matorral medio (-132,57 has) y, en menor proporción, el herbazal (-8,65 has). Desde una perspectiva ecológica, llama la atención el comportamiento mostrado por las coberturas arbóreas y arbustivas en un periodo de tiempo relativamente corto, ya que la superficie perdida es un importante llamado de atención acerca del estado de conservación del parque, pues supone una alteración que pudiera estar propiciando una importante pérdida de biodiversidad y, adicionalmente, afectando áreas generadoras del recurso del agua.

Por su parte, ganaron superficie durante el tiempo analizado los coberturas agrícola (475,29 has) y matorral ralo (113,22 has). El comportamiento aquí mostrado permite señalar que existe en el parque una gran presión por la expansión de la frontera agrícola, lo cual explica en gran medida la pérdida de parte de las coberturas arbóreas y arbustivas.

Finalmente, es necesario destacar que la actividad pecuaria tiende a mantenerse sin cambios aparentes en el tiempo.

Mapa de cambio y estabilidad

Producto de la superposición entre mapas de coberturas también es posible obtener —por reclasifi-

cación— un mapa que muestre la distribución de las áreas que cambiaron y de las que se mantuvieron estables. Así, en la figura 6 se muestra el mapa producto de reclasificar como áreas estables los valores de la diagonal de la matriz (rojo) y como áreas dinámicas el resto de las celdillas (verde). Las áreas de cambio cubren una superficie de 931,23 has, mientras que las áreas estables cubren 23.963,43 has.

Al observar en la figura 6 los lugares en donde ocurrieron los cambios, puede concluirse que las áreas de mayor afectación están definidas alrededor de la carretera que sirve de enlace al eje Guárico-Villanueva y sus alrededores (sección suroeste) —áreas cafetaleras—. Le sigue en importancia el sitio de construcción del embalse Yacambú-Quibor (sección sureste) y, finalmente las áreas aledañas a El Potrero de La Virgen, El Alto (noroeste) y Palo Verde (noreste) del parque, que corresponden con áreas agrícolas por excelencia. Esta situación permite concluir que efectivamente las áreas de mayor cambio coinciden con áreas limítrofes del parque, que cuentan con o están muy próximas a vías de comunicación —dada la presencia de actividades humanas— y que estas actividades son las que están propiciando, en su mayoría, los cambios más importantes en estas secciones.

La dimensión estructural en el Parque Nacional Yacambú

En algunas aplicaciones de ecología del paisaje el principal interés está en determinar la cantidad y distribución de un tipo particular de fragmento (clase). Un buen ejemplo lo constituye el estudio de la fragmentación de bosques, que es un proceso a nivel de paisaje en el cual extensiones de bosque son subdivididas progresivamente en unidades más pequeñas, geoméricamente más complejas y más aisladas, como resultado de procesos tanto naturales como humanos. Este proceso es reconocido como el mayor responsable de la pérdida de biodiversidad (Bustamante y Grez 1995, 58-63). En otras aplicaciones ecológicas el interés principal se centra en la estructura (composición y configuración) del paisaje como un todo. Un buen ejemplo lo constituye el estudio de la diversidad del paisaje, cuya base parte de los postulados realizados por Leopold, que señalan que la diversidad de fauna es más grande en paisajes más diversos (Bustamante y Grez 1995, 62-63; Cantín et ál. s.f. 1-20).

En el trabajo aquí presentado se calculan algunas medidas de: área, forma, proximidad y diversidad que permiten evaluar cuantitativamente la situación estructural de las coberturas del Parque Nacional

Yacambú. Estos índices se calcularon para las coberturas naturales definidas a partir de la interpretación de imágenes SPOT 2008, a escala 1:25.000. Como apoyo adicional, y para comparar la evolución estructural de las coberturas naturales inmersas en la matriz del paisaje, fueron utilizados los mapas a escala 1:100.000 para obtener medidas estructurales a nivel de paisaje. Las funciones utilizadas fueron calculadas directamente por el programa Fragstats, previa edición de la base de datos aportada por los mapas.

Área por grandes tipos de cobertura

El cálculo de este índice mostró que las coberturas naturales ocupan la mayor superficie del parque, un 92,33%, en contraposición al 7,67% ocupado por las coberturas intervenidas. Situación que desde la perspectiva de los objetivos de creación del parque luce favorable.

Área por coberturas agrupadas (clases)

Al aplicar esta medida, se encuentra que el bosque ocupa la mayor superficie del parque, seguido de las coberturas intervenidas y matorral. La menor superficie corresponde al herbazal.

Área por clase - AC

La medida área por clase - AC, aplicada sobre coberturas naturales permite señalar que el bosque denso ocupa la mayor superficie, seguido del bosque medio y el bosque ralo.

Número de parches por clase - NP

Los resultados del índice números de parches por clase —en adelante, NP— muestran que la cobertura bosque medio posee el mayor número de parches (19), seguida de matorral medio, bosque ralo y matorral ralo (15, 16 y 13, respectivamente). Poseen el menor número de parches las coberturas de bosque denso (1), matorral denso (7) y herbazal (8).

Densidad de parches - PD

La densidad de parches —en adelante, PD— es una medida indicadora indirecta de procesos de fragmentación; muestra que la mayor densidad de parches corresponde a las coberturas bosque medio, matorral medio, bosque ralo y matorral ralo, hecho que pudiera apuntar hacia procesos de fragmentación para estas categorías. La menor fragmentación se observa para el bosque denso, lo cual es un signo positivo para evaluar el estado de conservación del parque, ya que una

cobertura tan importante solo contiene a lo largo de la superficie del parque un polígono, que adicionalmente es el de mayor superficie, lo que indica un nivel nulo de fragmentación, y disponibilidad de hábitat para las especies de fauna silvestre que se intentan proteger.

Índice de parche más grande - LPI

El índice de parche más grande —en adelante, LPI— cuantifica el porcentaje total del área del paisaje compuesta por el parche más grande, por lo que puede considerarse una medida simple de dominancia. Los valores indican que el porcentaje más alto del área total del paisaje corresponde al bosque denso, razón por la que puede considerarse como la cobertura dominante. Le siguen las coberturas bosque medio y bosque ralo, que pueden considerarse abundantes. Y, finalmente, las coberturas de matorral ralo, matorral medio, matorral denso y herbazal participan en menor proporción en el paisaje, pudiéndose considerar raras.

Medidas de forma

Son estadísticas que cuantifican la configuración del paisaje a partir de la evaluación de la complejidad de las formas. La interacción de la forma del parche y su tamaño puede influir en un número importante de procesos ecológicos. La forma es un parámetro difícil de cuantificar, sin embargo, existen índices que toman en consideración la relación área-perímetro para su definición.

Índice de forma del paisaje - LSI

El índice de forma del paisaje —en adelante, LSI— proporciona una medida simple de agregación de clases. Así, un valor igual o cercano a 1 indica que la forma se aproxima a un cuadrado y tiene la máxima compactación; de igual manera, en la medida en que incrementa este valor, la forma es más desagregada y se aleja fuertemente de una forma cuadrada. Su cálculo revela que todas las coberturas se alejan fuertemente de la forma cuadrada, lo que implica que las coberturas se encuentran desagregadas en la matriz del paisaje.

La forma de los fragmentos

La forma está condicionada por la actividad humana y las condiciones naturales (topografía, litología, etc.). El dominio de las condiciones naturales favorece las formas curvilíneas e irregulares, y, en contraposición, el dominio de la actividad humana supone mayor presencia de formas rectilíneas.

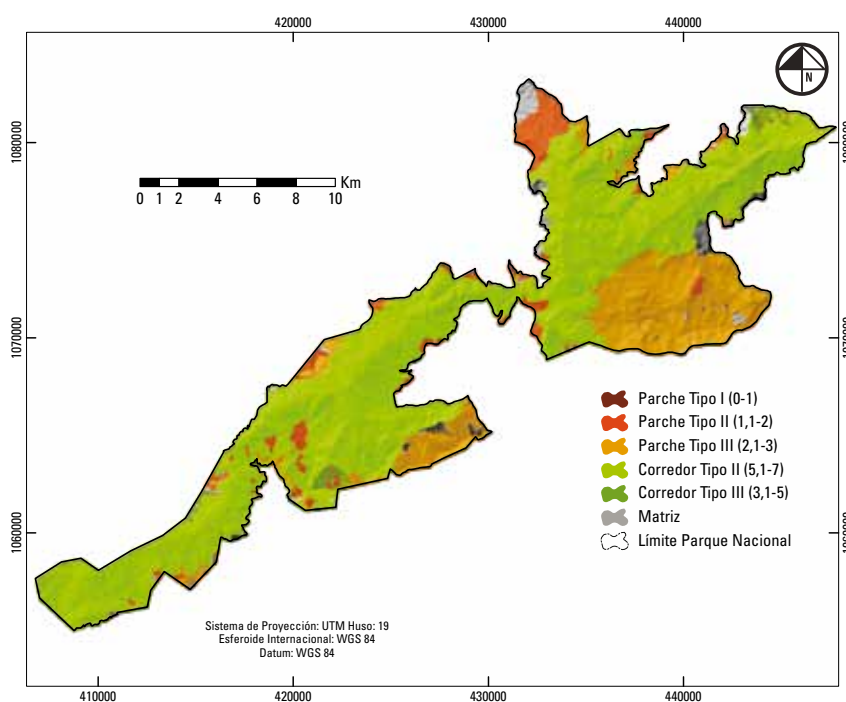


Figura 7. Mapa de distribución de parches y corredores.

Datos: imagen SPOT 5, composición RGB 321, enero 2008.

Nota: índice de forma aplicado al mapa de cobertura derivado de SPOT 5, resolución espacial 10 m. mediante el programa Fragstats.

A continuación se lleva a cabo un agrupamiento en rangos de las formas medias de cada cobertura. Para ello se consideró su proximidad o distanciamiento del valor 1 (forma cuadrada) y la visualización en pantalla. El agrupamiento permite evaluar las formas predominantes dentro del parque. Se tiene:

- Parche tipo 1: cuadrado ($= 1$)
- Parche tipo 2: medianamente cuadrado ($> 1, < 2$)
- Parche tipo 3: poco cuadrado ($> 2, < 3$)
- Corredor tipo 3: poco alargado ($> 3, < 5$)
- Corredor tipo 2: medianamente alargado ($> 5, < 7$)
- Corredor tipo 1: alargado (> 7)

El índice de forma media de cada cobertura muestra un predominio de parches tipo 2 (medianamente cuadrados), y solo uno de tipo medianamente alargado, que corresponde al bosque denso.

Por otra parte, el índice de forma agrupado por rangos —sin considerar el tipo de cobertura— muestra un predominio de parches tipo 2 (53 polígonos), que corresponden a la forma medianamente cuadrados. Así, de los 79 polígonos existentes, 74 corresponden a formas que tienden al cuadrado y 5 poseen formas alargadas,

situación que hace suponer una baja conectividad a través de las coberturas dada la poca presencia de corredores que funjan como conectores. Sin embargo, aunque teóricamente esto es así, la presencia del gran polígono del bosque denso sugiere lo contrario, ya que este funge como corredor permitiendo el desplazamiento de la fauna silvestre entre coberturas de diferente tipo. La figura 7 permite observar la distribución de las formas señaladas. Se destaca la ubicación de las formas geométricas (en su mayoría) en los bordes del parque, donde se ubican las áreas intervenidas.

Medidas de proximidad

La distancia al vecino más cercano es definida como la distancia desde un parche a uno del mismo tipo, basado en la distancia borde a borde. Esta medida cuantifica la configuración del paisaje. El vecino más próximo puede influenciar un número importante de procesos ecológicos, en los que se sugiere que la dinámica de poblaciones de plantas y animales locales en un parche está influenciada por su proximidad a otras subpoblaciones de la misma especie o de especies competitivas. Al calcular el índice de proximidad media —en adelante,

ENN_MN— para cada clase, se encuentra que las coberturas de bosque denso, matorral denso, matorral ralo y herbazal no tienen vecinos del mismo tipo en el radio de búsqueda especificado. Así, exceptuando la cobertura de bosque denso (que posee solo un polígono), puede señalarse que existe una alta fragmentación en distribución para estos. Por su parte, las coberturas matorral medio, bosque ralo y bosque medio muestran valores intermedios, asumiéndose entonces mayor contigüidad o menor fragmentación en su distribución.

Comparación entre índices de paisaje

La tabla 3 muestra la comparación de algunas medidas métricas a nivel de paisaje, obtenidas a partir de los dos mapas de cobertura a escala 1:100.000.

Tabla 3. Comparación entre índices para la totalidad del paisaje 2000-2008.

Índices de paisaje	Landsat 1:100.000 (2000)	SPOT 1:100.000 (2008)
NP	48	56
PD	0,041	0,048
LPI	14,89	14,83
LSI	2,19	2,30
AREA_MN	500,58	437,63
SHAPE_MN	1,87	1,81
ENN_MN	3.137,01	2.936,82
SHDI	0,94	0,89

Datos: índices estructurales derivados de mapas de cobertura obtenidos de Landsat 7 y SPOT 5.

Analizando la información contenida en el citado cuadro, se puede concluir que:

- El NP indica que en el periodo analizado hubo un incremento en el número de fragmentos, que pasan de 48 a 56. Este comportamiento apunta a una tendencia hacia la fragmentación de las coberturas y, por ende, a la afectación de la biodiversidad. Como consecuencia de lo anterior, en el 2008 también es mayor la PD, lo que señala una mayor fragmentación.
- El LPI es muy similar, lo que implica que el fragmento que marca este valor (bosque denso) se mantuvo casi invariable durante el periodo analizado.
- El LSI muestra un valor más bajo en el 2000, lo que significa una mayor agregación o compactación de formas en comparación con el 2008.
- Como ya se comentó, el área que comprende cada parche - AREA_MN, es muy importante, ya que una

progresiva reducción del tamaño de los fragmentos es un componente clave de la fragmentación del hábitat. En este caso, se observa cómo el tamaño medio de los fragmentos del paisaje disminuye levemente en el 2008, lo cual ratifica que está ocurriendo un proceso de fragmentación.

- Por su parte, el índice del vecino más próximo muestra que las distancias más largas entre fragmentos del mismo tipo eran mayores en el 2000, lo que corrobora una mayor complejidad del paisaje en el 2008, al asumir que la distancia disminuye al ocurrir un mayor proceso de fragmentación.
- Finalmente, al analizar el índice de diversidad de Shannon - SHDI, que cuantifica la composición del paisaje a partir de dos componentes, riqueza (número de tipos de parches presentes) y equidad (distribución en el área de los diferentes tipos de parches), se observa que el índice tiende a disminuir levemente en el 2008, lo que podría estar indicando menor riqueza y equidad en la composición del paisaje.

Conclusiones

La *dinámica temporal* evaluada permite señalar que el Parque Nacional Yacambú, en el periodo 2000 y 2008, muestra un alto grado de conservación para las coberturas ubicadas fuera del área de influencia de las vías de acceso. Sin embargo, destaca un cambio importante de reseñar: la pérdida de 508,51 has de la superficie ocupada por coberturas naturales y la ganancia de 475,29 has dedicadas a la actividad agrícola —áreas que, de acuerdo al mapa de cambio y estabilidad, se distribuyen espacialmente en los alrededores de las vías de acceso, ubicadas en los límites del parque—. El área total de cambios registrada fue de 3,88%, de los cuales un 2,04% ocurrió hacia la cobertura agrícola, situación que pareciera alarmante pero que debe mirarse con precaución, ya que si se comparan estas cifras con los resultados obtenidos en otros parques nacionales —como el Juan Pablo Peñalosa, en el que se sugiere una superficie de cambio en torno al 16% (Molina y Bausti s.f.), o el Parque Nacional Morrocoy, que arrojó un 9% de cambio (Molina y Vergara s.f.)—, los resultados pueden considerarse alentadores y estar señalando aspectos positivos relacionados con las políticas de gestión aplicadas en este parque por parte del ente encargado de su vigilancia y control, el Instituto Nacional de Parques —en adelante, Inparques—, adscrito al Ministerio del Ambiente.

La *matriz de cambio* obtenida permite señalar que durante el periodo analizado se mantienen con poca variabilidad espacial las coberturas pecuario, bosque denso, agrícola, bosque medio y bosque ralo. Por su parte, sí experimentaron una importante variabilidad espacial las coberturas herbazal, matorral ralo, matorral denso y matorral medio. Las tendencias de cambio, obtenidas de la matriz, apuntan a que la actividad agrícola es la que absorbe la mayor parte de la superficie de cambio de las categorías: matorral ralo, matorral medio, bosque ralo y bosque denso.

El *mapa de cambio y estabilidad* muestra claramente que las áreas sujetas a cambio se concentran en las áreas limítrofes del parque, en donde se ubican las vías de acceso. Se reconoce que existen limitaciones que han condicionado la gestión de Inparques sobre estos espacios, incurriendo en incumplimientos de lo establecido en el reglamento de uso aprobado para el parque, en donde se señala, de manera categórica, que nuevas actividades agrícolas o residenciales quedan totalmente prohibidas en cualquier zona del parque.

La *evaluación de la dinámica estructural* permite concluir:

- Las coberturas naturales ocupan la mayor superficie en el parque: 24.078 has de un total de 24.879 has. Hecho de gran significancia positiva desde la perspectiva ecológica que sustenta la existencia de un parque nacional.
- La mayor densidad de parches corresponde a las coberturas bosque medio, matorral medio, bosque ralo y matorral ralo, lo que permite señalar que existen procesos de fragmentación, principalmente, para estas categorías.
- El LPI indica que el mayor tamaño corresponde al bosque denso, por lo que se puede considerar como dominante. Este aspecto es altamente positivo si se le vincula con la disponibilidad de hábitats para especies de fauna silvestre que se protegen.
- El LSI indica que las coberturas se encuentran desagregadas en la matriz del paisaje con formas

intermedias entre parches y corredores. Sin embargo, destaca, nuevamente, el hecho positivo de la existencia del gran parche bosque denso, que tiende a la forma corredor, facilitando la conexión entre las demás coberturas y, por ende, el desplazamiento de las especies de fauna entre estas. Así, el bosque denso es el elemento dominante en la matriz del parque, pues es el que ocupa una mayor superficie y está mejor conectado, razón por la que acaba desempeñando un papel fundamental en la dinámica del paisaje.

- El ENN_MN revela que las coberturas matorral medio, bosque ralo y bosque medio se ven favorecidas por la proximidad en la distribución de parches, permitiendo la conexión entre subpoblaciones de fauna; caso contrario ocurre con las coberturas matorral denso, matorral ralo y herbazal, cuyos fragmentos del mismo tipo están más aislados unos de otros, con lo cual se dificulta esta conexión.

Finalmente, ha de destacarse que los dos métodos empleados para evaluar el comportamiento de la estructura horizontal del Parque Nacional Yacambú se complementan en parte, ya que resultados como la existencia de áreas de cambio (por intervención antrópica) coinciden con la ubicación de las áreas donde ocurren procesos de fragmentación y donde tienden a concentrarse las formas geométricas asociadas a procesos humanos de intervención al territorio.

Como recomendación a los resultados arrojados en este trabajo, y en consideración a resultados similares obtenidos para otros parques nacionales en Venezuela, se sugiere diseñar estrategias para el control efectivo de la expansión de la frontera agrícola, en las que exista una participación activa y articulada de las instituciones competentes y las comunidades involucradas, orientada a incentivar la conciencia ambiental, para así proteger los recursos naturales de los que depende su desarrollo y calidad de vida.

Gladyz Z. Molina

Doctora en Ciencias Ambientales de la Universidad de Alcalá de Henares, profesora de la Escuela de Geografía de la Universidad de Los Andes (Venezuela). Sus líneas de investigación son los estudios multitemporales, la sustentabilidad del agua en paisajes andinos y las dinámicas urbanas.

Anderson J. Albarran

Geógrafo con diplomado en Teledetección y SIG (India). Actualmente investigador de la Fundación Instituto de Ingeniería para la Investigación y Desarrollo Tecnológico en Venezuela. Sus líneas de investigación son los estudios ecológicos y los sumideros de carbono.

Referencias

- Altuve Sánchez, Marisol del Valle y Karla Mariani Calderón Dávila. 2009. *Análisis espacial comparativo de la cobertura de la tierra en el municipio Rivas Dávila, estado Mérida: periodo 1973-1986-2008*. Tesis de pregrado en Geografía, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela de Geografía, Universidad de Los Andes, Venezuela.
- Aponte, Cesar y Viviana Salas. 2003 *Estado de conservación del Parque Nacional Yacambú*. http://www.eco-index.org/search/pdfs/402report_2.pdf (consultado en marzo del 2010).
- Arias Zerpa, Marianela. 2005. *Transformaciones del paisaje en las microcuencas de las quebradas La Cuesta y La Boba, municipio Libertador, estado Mérida en el periodo 1952-2004*. Tesis de pregrado en Geografía, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela de Geografía, Universidad de Los Andes, Venezuela.
- Becerra, Freddy. 2006. *Evaluación multitemporal de las unidades de paisaje de la microcuenca La Fría San Rafael de Tabay, municipio Santos Marquina, estado Mérida periodos: 1952-1987 y 1987-1998*. Tesis de pregrado en Geografía, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela de Geografía, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- Bevilacqua, Mariapia, Lya Cárdenas y Domingo A. Medina. 2006. *Las áreas protegidas de Venezuela: diagnóstico de su condición 1993/2004*. Venezuela: Fundación Empresas Polar (FEP).
- Bridgewater, Peter B. 1993. Landscape Ecology, Geographic Information Systems and Nature Conservation. En *Landscape Ecology and GIS*, ed. Roy Haines-Young, David R. Green y Steven H. Cousin, 23-36. New York: Philadelphia.
- Bustamante, Ricardo y Antonio Grez. 1995. Consecuencias ecológicas de la fragmentación de los bosques nativos. *Ambiente y desarrollo* 11 (2): 58-63.
- Cantín, Gerardo, Zacarías Ordenes, Cristian Quijada y Alejandro Rodríguez. s.f. *Fragmentación del hábitat y su efecto borde*. Disertación, Organización Inacap Temuco, Ingeniería de Ejecución Forestal, Chile.
- Congreso de la República de Venezuela. 1983. Ley orgánica para la ordenación del territorio. *Gaceta Oficial de la República de Venezuela* n.º 3238 del 31/01/1989. Extraordinario del 11/08/1983. <http://www.mijucio.com/leyes/organicas/52.pdf> (consultado en marzo del 2010).
- Chuvieco, Emilio. 1996. *Fundamentos de teledetección espacial*. España: Rialp.
- Dramstad, Wenche, James D. Olson y Richard T. T. Forman. 1996. *Landscape Ecology Principles in Landscape Architecture and Land-Use Planning*. Washington, D. C.: Island.
- Escalante, York. 2007. *Estudio de la transformación del paisaje en el centro poblado de La Mucuy, municipio Santos Marquina, estado Mérida: periodos (1952-1989)-(1989-1998)*. Tesis de pregrado en Geografía, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela de Geografía, Universidad de Los Andes, Venezuela.
- Forman, Richard. T. T. 1995. *Land Mosaics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Forman, Richard T. T. y Michael Godron. 1986. *Landscape Ecology*. New York: Wiley and Sons.
- Gallego, Bernardo. 2003. *Estructura y composición de un paisaje fragmentado y su relación con especies arbóreas indicadoras en una zona de bosque muy húmedo tropical*. Tesis de Magister Scientiae, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) Costa Rica.
- Instituto Nacional de Parques (INPARQUES). s.f. Decreto de creación "Parque Nacional Yacambú". *Gaceta Oficial de la República de Venezuela* n.º 26.873 del 13/06/1962. http://inparques.gob.ve/modulos/decretos/pn_0007/creacion.pdf (consultado en marzo del 2010).
- Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC) y Centro Internacional de Ecología Tropical (CIET). 2006. *Compendio legal sobre áreas protegidas estrictas de Venezuela*. <http://www.ivic.ve/Ecologia/CIET> (consultado en julio del 2010).
- Márquez, Maryoly. 2011. *Análisis multitemporal de la cobertura de la tierra de la parroquia El Molino: municipio Arzobispo Chacón, estado Mérida, periodo 1986-2008; diagnóstico agrícola*. Tesis de pregrado en Geografía, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela de Geografía, Universidad de Los Andes, Venezuela.
- Mas Causel, Jean François, Jorge Correa S., A. de Alba Bocanegra, P. Zamora, A. Pérez Vega, Sosa López, G. Villalobos Zapata y R. Zetina Tapia. 2001. *Fragmentación de hábitats y evaluación de la biodiversidad en la región Los Petenes, Campeche*. Disertación, Centro de Ecología Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México, Universidad Autónoma de Campeche.
- Molina, Gladys Z. 2005. Propuesta metodológica para abordar estudios de dinámica de uso urbano utilizando clasificaciones digitales de imágenes de satélite; caso de estudio: la ciudad de Maracay. *Revista Geográfica Venezolana* 46 (2): 195-234.
- Molina, Gladys Z. y Emilio Chuvieco. 1997. Detección del crecimiento urbano en la ciudad de Maracaibo, Venezuela, mediante análisis multitemporal de imágenes MSS y TM. En *Teledetección: uso y aplicaciones*, ed. José Luis Casanova y Julia Sanz, 361-369. España: Universidad de Valladolid.

- Molina, Gladys Z. y José Luis Rivas. 2007. Conflictos de usos normativos y agroecológicos en un área fronteriza: sector El Nula, estado Apure, Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana* 48 (1): 101-114.
- Molina, Gladys Z. y Montserrat Bausti. Próximo. *Análisis ecológico del Parque Nacional Juan Pablo Peñalosa, Venezuela*. Caracas: Universidad de Los Andes y Centro de Procesamiento Digital de Imágenes.
- Molina, Gladys Z. y Walmore Vergara. Próximo. *Análisis ecológico del Parque Nacional Morrocoy, estado Falcón, Venezuela*. Caracas: Universidad de Los Andes y Centro de Procesamiento Digital de Imágenes.
- Molina Trigos, Juan Carlos. 2009. *Análisis multitemporal de la cobertura de la tierra en la microcuenca El Guayabal, a partir de imágenes satelitales Landsat TM y ETM+*. Tesis de pregrado en Geografía, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela de Geografía, Universidad de los Andes, Venezuela.
- Morlans, María Cristina. 2000. *Estructura del paisaje (matriz, parches, bordes, corredores) sus funciones, fragmentación del hábitat y su efecto borde*. Argentina: Científica Universitaria - Universidad Nacional de Catamarca. http://fahuweb.uncoma.edu.ar/archivos/ESTRUCTURA_DEL_PAISAJE.pdf (consultado en marzo del 2010).
- Oyola Vergel, Andrés Felipe. 2009. Heterogeneidad de la vegetación en un paisaje de origen glacial en el Páramo de las Cruces, sierra de La Culata, Mérida, Venezuela. Tesis Magister Scientiae, Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE), Universidad de Los Andes, Venezuela.
- Ramírez, Juan Carlos. 2007. *Análisis multitemporal del uso del suelo y cobertura natural del Ramal de Calderas y sus alrededores, cordillera de Mérida, Venezuela*. Tesis de pregrado en Geografía, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela de Geografía, Universidad de los Andes, Venezuela.
- Risser, Peter G. 1987. Landscape Ecology: State-of-the-Art. En *Landscape Heterogeneity and Disturbance*, ed. M. G. Turner, 17-27. New York: Springer-Verlag.
- Rivas, Hilsis. 2012. *Escenarios de cambio espacial en las comunidades Mistique, Mocado y el Royal. Parque Nacional Sierra Nevada, estado Mérida*. Tesis de pregrado en Geografía, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela de Geografía, Universidad de Los Andes, Venezuela.
- Rodríguez Ramírez, Kuay K. 2009. *Análisis multitemporal de cambios en la cobertura de la tierra y su efecto en la generación de caudales máximos: cuenca de la quebrada Tos-tós, municipio Campo Elías, estado Mérida*. Tesis de pregrado en Geografía, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela de Geografía, Universidad de Los Andes, Venezuela.
- San Vicente, Mikel Gurrutxaga. 2003. *Índices de fragmentación y conectividad para el indicador de biodiversidad y paisaje de la Comunidad Autónoma del País Vasco*. Disertación, Dirección de Biodiversidad del Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente del Gobierno Vasco, España. http://www9.euskadi.net/indicadores_ambientales/datos/fragmentacion_c.pdf
- Thuiller, Wilfried. 2007. Climate Changes and the Ecologist. *Nature* 448:550-552.
- Triviño Pérez, Alejandro, M. Soler Capdepón G. y Alejandro Vicedo Maestre. 2007. Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del índice de fragmentación de hábitat empleado por la Agencia Europea de Medio Ambiente. *GeoFocus* 7:148-170.
- Turner, Monica G. y Robert H. Gardner. 1991. *Quantitative Methods in Landscape Ecology: The Analysis and Interpretation of Landscape Heterogeneity*. Nueva York: Springer Verlag.
- Turner, Monica G., Robert H. Gardner y Robert V. O'neil. 1995. Ecological Dynamics at Broad Scales: Ecosystems and Landscapes. *Science and Biodiversity Policy* 45:S29-S35.
- University of Massachusetts. s.f. *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps; Wath is Fragstats?* <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- Valecillos, Sara. 2009. *Los cambios del paisaje y su distribución de especies: modelización y aplicación a la conservación de las aves de hábitats abiertos en paisajes mediterráneos*. Tesis doctoral, Centre Forestal Tecnógyc de Catalunya, Universidad de Lleida, España. (inédito).
- Vila i Subirós, Josep, Diego Varga i Linde, Albert Llausàs Pascual y Anna Ribs i Palom. 2006. Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (*landscape ecology*): una interpretación desde la geografía. *Documents d'anàlisi geogràfica* 48:151-166.
- Vitousek, Peter M. 1994. Beyond Global Warming: Ecology and Global Change. *Ecology* 75 (7): 1861-1876.
- Zoltan Fauverte, Bárbara. 2010. *Corredores ecológicos, conservación de recursos naturales y ordenación del territorio*. Tesis Magister Scientiae, Universidad de Los Andes, Venezuela.