

ANÁLISIS TEMPORAL DE LA FRAGMENTACIÓN FORESTAL Y ESTRUCTURA DEL PAISAJE EN ESPACIOS PROTEGIDOS

Raymundo Villavicencio García¹
Ana Luisa Santiago Pérez¹
Agustín Gallegos Rodríguez¹
Carlos Alberto Ortega Castellanos²

¹Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), Departamento de Producción Forestal. Profesor-Investigador. e-mail: vgr02072@cucba.udg.mx, spa19684@cucba.udg.mx, gra09526@cucba.udg.mx

²Universidad de Guadalajara-CUCBA. Pasante de Licenciatura en Biología. e-mail: ortegacastellanos@yahoo.com.mx

Palabras claves: Fragmentación, paisaje, área natural protegida, uso del suelo

RESUMEN

México es uno de los cinco principales países con más especies de plantas en el mundo [12], sin embargo, como otros recursos naturales, éste no queda exento de padecer cualquier alteración en su medio debido a disturbios naturales o causas antropogénicas, lo que conlleva en un sentido estricto a la fragmentación de ecosistemas y por ende a una pérdida directa tanto económica y potencialmente ecológica. El fenómeno de la fragmentación es originado por varios factores entre los que destacan la deforestación y el cambio de uso de suelo; por lo tanto y debido a la repercusión que representa la fragmentación para los ecosistemas, resulta de manera trascendente fomentar estudios ecológicos a través de la percepción remota y los sistemas de información geográfica para identificar cuantitativamente coberturas forestales fragmentadas, su estructura y valoración del paisaje, permitiendo con ello, fortalecer estrategias de manejo forestal y de planificación territorial. El objetivo del trabajo fue determinar los patrones de la fragmentación y estructura del paisaje por tipo de cobertura forestal y su cambio con base a la clasificación de imágenes de satélite. El estudio se realizó en el Área Natural Protegida "Sierra de Quila", ubicada en el Occidente de México y cubierta por formaciones de pino-encino y selva baja caducifolia principalmente. Se contó con dos imágenes Landsat 4TM y 7ETM de 1993 y 2000, clasificadas de manera supervisada con el método de máxima probabilidad. Los patrones de fragmentación fueron determinados por los siguientes índices: densidad y tamaño de parches, longitud de bordes, forma, dimensión fractal, aislamiento y conectividad. De la comparación de mapas resalta por un lado, el incremento de superficie del bosque de pino-encino con 15.5% (1106 ha) y por otro, el decremento del hábitat de la selva baja caducifolia con 30% (648 ha). La reducción de esta última cobertura tuvo por consecuencia el aumento de fragmentos forestales al pasar de 164 a 242 el número de parches, así como la reducción del área promedio de los mismos (de 17.1 ha a 8.9 ha). El número de parches y la longitud total de borde disminuyeron para el bosque de pino-encino, el área promedio incrementó y el valor promedio de la dimensión fractal continuó estable. El análisis de imágenes clasificadas permitió identificar cambios en la cobertura forestal y del uso del suelo, sin embargo con el uso de patrones de fragmentación se corroboró su dinámica y valor paisajístico.

ABSTRACT

Mexico is one of five principal countries with the most plant species in the world [12]. Nevertheless, like other natural resources, it is not exempt from suffering any alteration in its habitat due to natural disturbances or anthropogenic causes, which, in a strict sense, involves the fragmentation of ecosystems and also a direct economical or potential ecological loss. This phenomenon is caused by several factors like, among the principal ones, deforestation and the change in soil usage; therefore, due to the repercussion that ecosystem fragmentation represents, it becomes transcendent to encourage ecological studies with the use of remote sensing and geographic

information systems in order to identify, quantitatively, the fragmented forest coverage and its structural and landscape valuation. This information makes it possible to strengthen forest management and territory planning strategies. In this work, the objective was to determine the fragmentation patterns and landscape structure by forest type as well as its change in satellite image classification. This study was carried out in the Natural Protected Area of "Sierra de Quila", located in Western Mexico. The area is mainly covered by pine-oak forest and tropical-dry forest. Satellite data of two classified images, Landsat 4TM and 7ETM, from 1993 and 2000, were used. The fragmentation patterns were determined by different types of indices: number of patches, mean patch size, perimeter of patches, mean shape index, mean patch fractal dimension, isolation and connectivity. By comparing the maps, the increase in the pine-oak area of the forest was shown to be at 15.5% (1106 ha), and the decrease of the tropical-dry forest habitat at 30% (648 ha). The reduction of this coverage, as a consequence, increased forest fragments from 164 to 242 based on the number of patches, and there was also a reduction of the mean area (from 17.1 ha to 8.9 ha). The number of patches and the total patch perimeter decreased for the pine-oak forest, whereas the mean area increased, and the mean value of the fractal dimension remained constant. The analysis of classified images allowed changes to be identified in forest coverage and soil usage; yet, the usage of fragmentation patterns allowed its dynamics and landscape value to be corroborated.

1. INTRODUCCION

La fragmentación de ecosistemas es reconocida como una de las principales causas de la pérdida de biodiversidad; además de modificar los ciclos hídricos, cambiar los regímenes de temperatura y precipitación y causar la pérdida o reducción de hábitats [5]. La fragmentación es considerada como una consecuencia negativa producto de la expansión y dinámica del uso del suelo, eventos que son calificados como una de las mayores causas de impacto y degradación sobre el medio [4]. En México al igual que otros países en desarrollo, el fenómeno de la fragmentación es originado por factores como la deforestación y el cambio de uso de suelo; actividades que muy comúnmente convierten las superficies forestales a zonas agrícolas y pecuarias como respuesta de la presión demográfica sobre los recursos naturales; tal como sucede en algunos espacios protegidos, que cada vez más se ven rodeados de medios o procesos altamente modificables e incluso totalmente perturbables; eventos que conducen en un largo plazo a que funcionen como ecosistemas naturales aislados [9]. Objetivamente las áreas protegidas persiguen preservar ambientes naturales representativos de diferentes regiones, además de proporcionar un campo propicio para la investigación, incluida la ecología de los ecosistemas. Dada la importancia cada vez mayor de realizar estudios de paisaje, se realiza un análisis cuantitativo de la fragmentación de un área protegida del estado de Jalisco, el cual generará información espacial que coadyuve a fortalecer futuras acciones de manejo.

2. OBJETIVOS

Determinar los patrones de la fragmentación y estructura del paisaje por tipo de cobertura forestal y su cambio con base a imágenes de satélite clasificadas.

3. MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en el Área Natural Protegida (ANP) "Sierra de Quila", ubicada en el occidente de México en el estado de Jalisco (20° 14' y 20° 21' N; 103° 57' 09" y 104° 07' 32" W) a 100 km al suroeste de la ciudad de Guadalajara. Su límite altitudinal varía de 1350 m a 2560 m y cubre una superficie de 141 km² (figura 1). En la mayor parte del área predomina un clima templado húmedo con lluvias en verano (precipitación pluvial promedio anual de 900 mm), sin embargo en la vertiente sur de la Sierra predomina una franja caliente húmeda con vegetación potencial de selva baja caducifolia, la cual se extiende desde 1350 hasta 1850 msnm. Otros tipos de vegetación lo constituyen el bosque templado de pino-encino, el bosque de encino, el bosque mesófilo de montaña, el bosque de galería y el bosque espinoso [6]. Dentro de las especies del género *Pinus* son predominantes: *Pinus lumholtzii* Rob. & Fern., *P. douglasiana* Martínez y *P. oocarpa* Scheide var. *oocarpa*; para el género *Quercus* lo son *Quercus resinosa* Lieb., *Q. coccolobifolia* Trel., *Q.*

obtusata H. & B. y *Q. castanea* Née. La selva baja caducifolia esta compuesta por elementos como *Acacia pennatula* (Schlecht. & Cham) Benth., *Bursera bipinnata* (DC.) Engl., *B. fagaroides* (H.B.K) Engl., *Guazuma ulmifolia* Lam, *Ipomea murucoides* Roem. & Schult., entre otras [11].

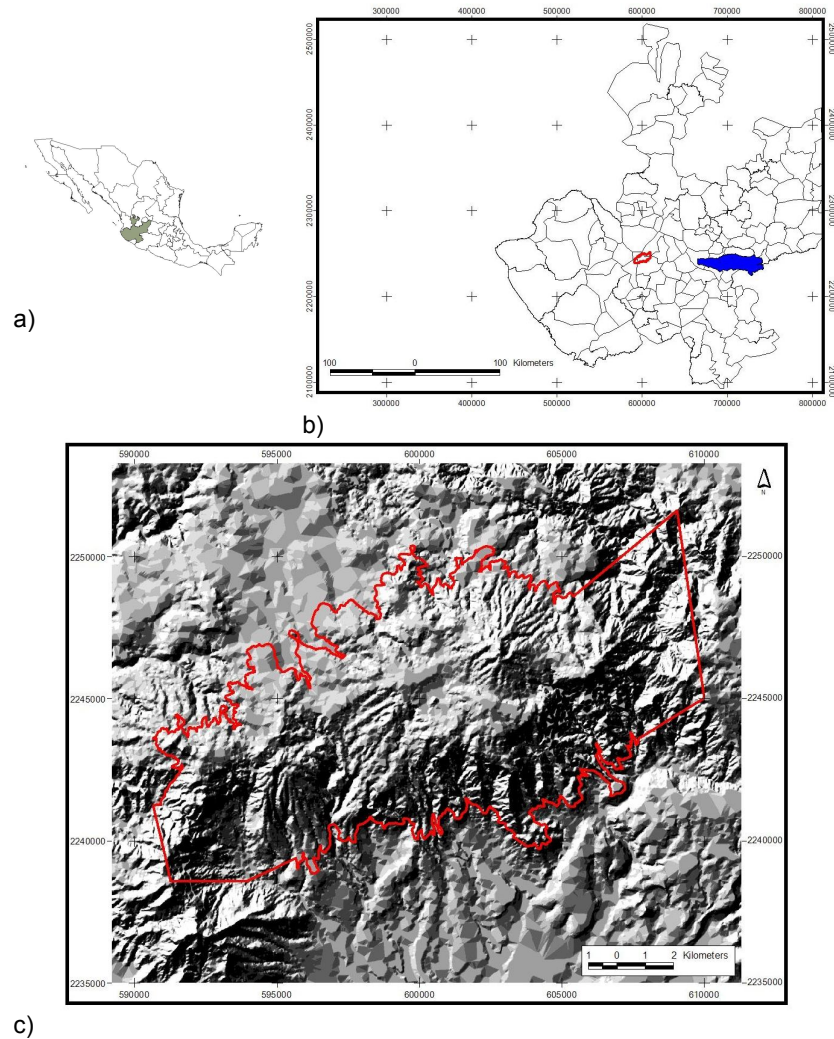


Figura 1. Localización del área de estudio, a) Estados de México; b) Municipios del estado de Jalisco; c) Delimitación del Área Natural Protegida “Sierra de Quila” sobre modelo sombreado.

Para este trabajo se contó con dos mapas de vegetación y uso del suelo obtenidos de una imagen Landsat 4TM, tomada el 23 de marzo de 1993 y otra imagen Landsat 7ETM del 22 de enero de 2000, ambas imágenes con resolución de 28 m. Las imágenes fueron clasificadas de manera supervisada e independiente con el método de máxima probabilidad y reclasificadas jerárquicamente con base en un modelo de elevación del terreno e información de campo [11]. El número y tipo de clases en ambos mapas fue el mismo, siendo el bosque de pino-encino (BPE), el bosque de encino-pino (BEP), el bosque de encino (BE), el bosque abierto de pino-encino (BAPE), la selva baja caducifolia (SBC) y la regeneración/plantaciones (RP) las clases consideradas como “cobertura forestal”. La “cobertura no forestal” lo integran la agricultura, el pastizal, las áreas sin vegetación aparente y las sombras.

Para el análisis y comparación de la dinámica temporal de la fragmentación y estructura del paisaje, se asume que las coberturas forestales son por lo tanto consideradas como un mosaico de elementos, los cuales son denominados y utilizados por la ecología del paisaje como "Parches" [2]. La estructura, función y cambio son tres de las principales propiedades de un paisaje, su identificación y medida dependen de la escala espacial de observación [8]. Para describir la estructura del paisaje y la fragmentación se utilizó la extensión Patch Analyst de ArcView para imágenes en formato raster basadas en una medida a escala nominal. Los índices calculados van desde la densidad de parches y medidas de tamaño, longitud de borde y forma hasta el cálculo de medidas de interspersión y diversidad a nivel de paisaje y de clase. Los índices y medidas basadas conceptualmente son: a) *Número de parches*, interpretándose que a mayor número de parches, mayor fragmentación; b) *Tamaño promedio de parches*, el cual deduce que a mayor área, más homogéneo es el espacio; c) *Longitud total de los parches*, interpreta la medida absoluta del largo total de borde de un tipo de parche (a nivel de clase) o de todos los tipos de parches (a nivel de paisaje); d) *Índice promedio de forma de los parches*, la métrica tiene el siguiente significado ecológico, las formas regulares o simples indican intervención o incidencia humana; las formas irregulares por lo contrario; e) *Índice ponderado de la dimensión fractal promedio del parche*, indica la complejidad de forma, cuando los valores tienden a 1 son formas con perímetros simples, si tienden a 2 las formas son más complejas; f) *Promedio de la proporción perímetro/área*, significa que ha mayor proporción del perímetro con respecto al área del fragmento éste es más vulnerable a procesos de perturbación, impacto y efecto de borde; g) *Índice del vecino más cercano*, determinan el grado de aislamiento o conectividad a nivel de tipo de cobertura o paisaje; h) *Índice de yuxtaposición dispersión*, califica que tan dispersos o agrupados se encuentran los parches en todo el paisaje [1], [7], [10].

4. RESULTADOS

Los mapas de vegetación de 1993 y 2000 registraron una precisión de píxeles correctamente clasificados de 86 y 83% respectivamente. Durante este período y solo en la "cubierta forestal" se registró una disminución en su superficie de 1.1%, lo que significa una pérdida anual de 0.15% [11]. A nivel de paisaje, en el ANP (141 km²) se cuantificó para el año 1993 un total de 2961 parches, para el año 2000 fueron 2571. Durante este período el tamaño promedio de los parches varió de 4.6 ha a 5.3 ha; bajo esta referencia y aplicando el algoritmo $((MPS_1 - MPS_2) / MPS_1 \times 100)$ [3], se comparó el tamaño promedio de parche por paisaje e interpretó el porcentaje de cambio, obteniendo el valor de -15.4%, significando un cambio positivo de la estructura espacial forestal a nivel de paisaje debido a la unión de fragmentos; suceso que también es reflejado con los valores de composición de riqueza e igualdad de los tipos de parche en el paisaje calculados por el índice de Shannon, siendo 1.58 en el año 1993 y 1.45 en el 2000, lo que indica una disminución de diversidad de fragmentos. Los valores promedio de forma de los parches fueron mayores a 1, indicando un promedio de forma distante a la de un cuadrado, además, el valor fractal promedio de todos los parches sugieren que las formas son un tanto complejas. El arreglo espacial de los parches a nivel de paisaje fue evaluado por el indicador del vecino más cercano, registrándose entre el año 1993 y 2000 un aumento (17 m) en la dispersión de los parches, mientras que la evaluación del grado de dispersión resultó en ambos mapas con valores intermedios (alrededor de 60%), significando una distribución media alta en buena parte del territorio.

Del análisis a nivel de clases, resalta de la comparación de mapas el cambio que presentan los principales tipos de coberturas, por un lado, el incremento de superficie del BPE con 15.5% (1106ha), atribuido principalmente al incremento de la densidad de la cobertura BAPE y el cambio sucesional de desarrollo que tuvieron las áreas de RP al incorporarse como arbolado adulto, según lo demuestra esta última cobertura en la reducción de parches que pasa de 208 a 32 (figura 2); por otro lado, el decremento del hábitat de la SBC con 30% (648ha) con respecto a su cobertura original (año 1993). La reducción de la SBC tuvo por consecuencia el aumento de parches que pasa de 164 a 242 (figura 2), así como la disminución del área promedio (de 17 a 9 ha) de los mismos.

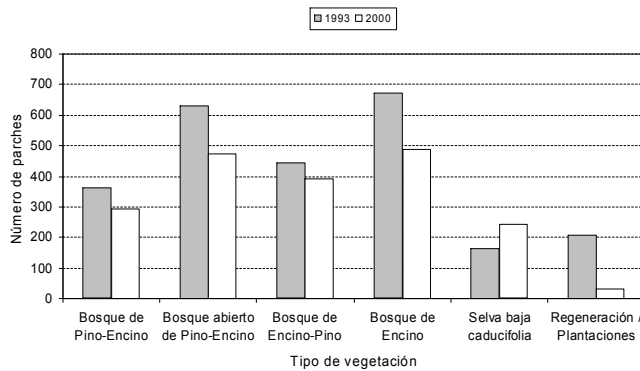


Figura 2. Número de parches por tipo de cobertura vegetal (período 1993-2000).

La figura 3 muestra la distribución de frecuencias por tamaño de parches por tipo de vegetación, en ambos períodos las distribuciones se encuentran fuertemente sesgadas hacia los segmentos pequeños, donde contrasta la SBC en el año 2000, ya que el 71% de los 242 parches calculados, poseen menos de una hectárea y solo 70 segmentos (29%) son superficialmente mayores. La pérdida de hábitat de la SBC se debe a un incremento de la clase “áreas sin vegetación aparente” asociada a esta comunidad de manera puntual en la parte noreste del ANP como se observa en la figura 4; otros factores que han contribuido a la reducción de este hábitat es la apertura de áreas y la conversión de su uso, ya bien sea para practicar la agricultura local o introducir pastizales. En el BPE solo el 25% de los parches son mayores a una hectárea, es decir, 73 de los 293 parches registrados en el año 2000 y 39 parches menos en comparación a 1993.

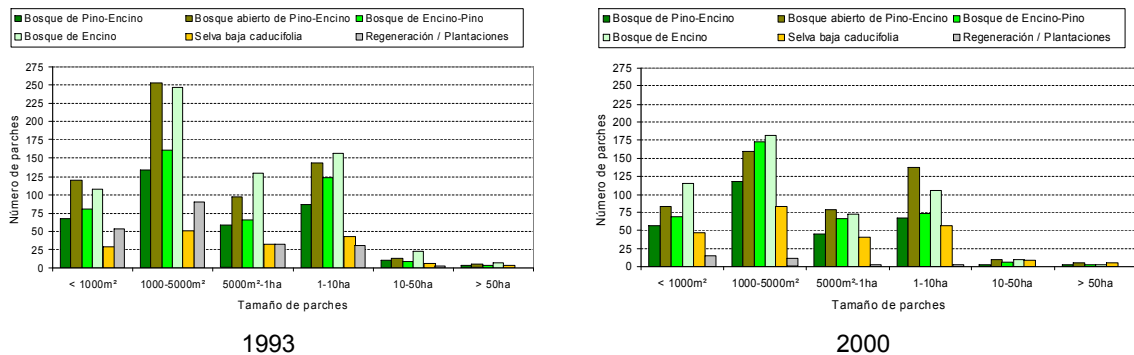


Figura 3. Distribución de frecuencias de tamaño de parches por tipo de cobertura.

Los índices promedio de forma de parches en ambos períodos sugieren formas y fronteras irregulares para todas las coberturas de bosque a excepción de las áreas regeneradas (RP), las cuales presentan valores menores, incluso en el valor fractal promedio, indicando la presencia de parches más pequeños y geoméricamente más regulares (ver tabla 1). La proporción perímetro-área para todas las coberturas, exceptuando el BAPE, registraron un incremento, de esta manera se acentúa la exposición al efecto de “borde”. Respecto a la estructura del paisaje y grado de conectividad, la mayor distancia promedio entre parches la registró el BE (110 m) en comparación con el año 1993 (90 m); por lo contrario, la SBC y el BPE promediaron valores más cercanos entre sus parches. En cuanto a la medida de distribución, el índice de yuxtaposición reflejó que todos los tipos de vegetación han minorizado su grado de dispersión entre sus parches en el territorio; las coberturas BPE y BE poseen valores mayores a 60%, indicando que sus parches son abundantes y se encuentran distribuidos por casi toda el ANP, valores entre 40 y 50% lo presentan las comunidades de BAPE y SBC, indicando una abundancia media y una dispersión espacial de 50%, solo el BEP (<40%) es poco abundante y sugiere un patrón espacial concentrado (tabla 1).

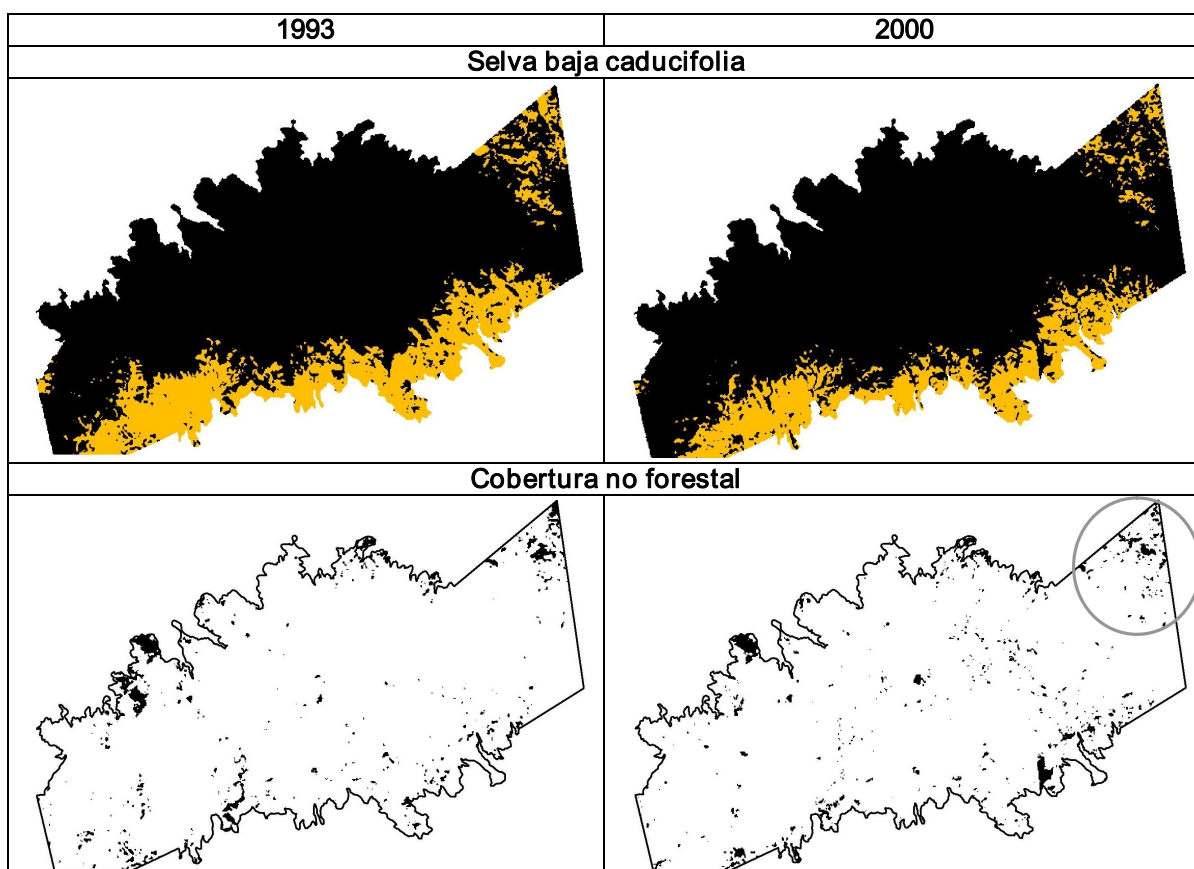


Figura 4. Distribución y cambio espacial de la selva baja caducifolia. El círculo muestra la parte noreste del ANP con mayor densidad de parches de cobertura no forestal en el año 2000.

Tabla 1. Medidas de densidad, tamaño, borde, forma e interspersión.

Año	Clase	CA (ha)	NUMP (n)	MPS (ha)	TE (Km)	MSI	AWMPFD	MPAR (m/ha)	MNN (m)	IJI (%)
1993	SBC	2797.4	164	17.1	349	1.37	1.27	777.7	66.7	58.1
	BE	2435.3	670	3.6	639	1.36	1.19	795.3	90.1	68.3
	BPE	6037.6	360	16.8	758	1.38	1.30	831.5	72.6	61.2
	BEP	809.7	441	1.8	260	1.27	1.12	799.3	125.3	35.2
	BAPE	1354.8	631	2.1	448	1.32	1.17	845.6	94.5	50.9
	R/P	174.2	208	0.8	89	1.25	1.13	954.0	166.1	54.7
2000	SBC	2149.6	242	8.9	354	1.38	1.22	814.3	69.0	49.0
	BE	2418.6	488	4.9	572	1.35	1.26	892.1	109.6	63.7
	BPE	7143.6	293	24.4	668	1.37	1.28	860.1	81.7	60.5
	BEP	659.4	390	1.7	214	1.25	1.14	835.9	129.0	35.5
	BAPE	1239.2	474	2.6	357	1.33	1.16	795.9	103.2	45.7
	R/P	10.0	32	0.3	7	1.12	1.04	1169.0	266.2	46.6

Abreviatura: SBC: Selva baja caducifolia; BE: Bosque de encino; BPE: Bosque de pino-encino; BEP: Bosque de encino-Pino; BAPE: Bosque abierto de pino-encino; R/P: Regeneración-Plantación; CA: Área total de los parches; NUMP: Número de parches; MPS: Tamaño promedio de parches; TE: Longitud total de parches; MSI: Índice promedio de forma de los parches; AWMPFD: Dimensión fractal promedio de parche; MPAR: Promedio de la proporción perímetro/área; MNN: Índice del vecino más cercano; IJI: Índice de yuxtaposición

CONCLUSIONES

1. La composición del paisaje del ANP ha variado y reducido su heterogeneidad paisajística, sin embargo de manera general la forma de los parches ha permanecido estable; la estructura del paisaje muestra una ligera disminución de la conectividad y adyacencia de los parches.
2. Las coberturas forestales BPE, BAPE, BEP y BE no registraron fragmentación, caso contrario a la SBC que es alta, además este tipo de vegetación ha presentado una pérdida de superficie y dispersión a nivel de paisaje, por lo que se recomienda contemplar y dirigir acciones de mitigación y de recuperación del ecosistema en un plan de manejo inmediato, por ser una de las comunidades que mayor diversidad biológica posee.
3. A pesar de que a las imágenes clasificadas les fue aplicado un filtro mayoritario (3x3) y haber eliminado píxeles aislados y mejorado la apariencia, se cuantificó aún un porcentaje considerable de parches muy pequeños en todas las coberturas forestales, los cuales pueden llegar a influir en los resultados de las métricas promedio, por ejemplo, es de esperar encontrar dimensiones fractales bajas en parches pequeños y regulares. Se sugiere evaluar y comparar estudios de paisaje y fragmentación con imágenes clasificadas reducidas, es decir, aumentando el tamaño de los píxeles y posteriormente reemplazando valores para conjuntar los tipos de coberturas a fin de obtener mayor eficiencia en el proceso y precisión en el cálculo de las medidas.
4. Las imágenes clasificadas y el uso del SIG permitió el análisis objetivo del paisaje e identificar cambios en los dos grupos de coberturas, las medidas utilizadas para la generación de información de paisaje y la utilización de los criterios expuestos, son una herramienta para el manejo de las áreas naturales protegidas.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bennet, A. F. 1998. *Linkages in the Landscape: The Role of Corridors and Connectivity in Wildlife Conservation*. IUCN, Gland, Suiza y Cambridge, RU, 254 p.
- [2] Chuvieco, E. 2002. *Teledetección ambiental*. Editorial Ariel, Barcelona, España. 580 p.
- [3] Elkie, P., Rempel, R., and Carr, A. 1999. Patch Analyst User's Manual. Ont. Min. Nature. Resource. Northwest Sci. & Technol. Thunder Bay, Ontario. 35 p.
- [4] Farina, A. 1998. *Principles and methods in Landscape Ecology*. Chapman and Hall. Cambridge.
- [5] Fieder, P. L. and Kareiva, P. M. (eds.) 1998. *Conservation Biology for the Coming Decade*. Chapman & Hall, Ney York.
- [6] Guerrero, N. J. J. y López, C. G. 1997. *La vegetación y la flora de la Sierra de Quila, Jalisco, México*. Universidad de Guadalajara. México. 91 p.
- [7] Mcgarigal, K. and Marks, B. J. 1994. Fragstats –Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure-. Forest Science Department, Oregon State University, Corvallis, USA. 67 p.
- [8] Moizo, M. P. 2004. La percepción remota y la tecnología SIG: una aplicación en Ecología del Paisaje. Geofocus No.4. p. 1-24.
- [9] Múgica, G. M., de Lucio, F. J. V., Martínez, A. C., Sastre, O. P., Aauri, M. J. A., Montes, O. C. 2002. *Integración territorial de espacios naturales protegidos y conectividad ecológica en paisajes mediterráneos*. DGREN de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. Andalucía, España. 124 p.
- [10] Rodríguez, M. y Rosales J. 2004. Cobertura de la tierra, uso asociado y análisis de paisaje en el corredor ribereño bajo Orinoco. Memorias del Congreso de Geografía 2004. Universidad Nacional Experimental de Guayana. CIEG, Venezuela.
- [11] Villavicencio, G. R. 2004. *Kartierung von Vegetationsstrukturen und deren Veränderung in Naturschutzgebieten mit Hilfe von Fernerkundung und terrestrische Inventurverfahren –dargestellt am Beispiel des Schutzgebietes für Flora und Fauna "Sierra de Quila" im Bundesstaat Jalisco im Westen Mexikos*. Cuvillier Verlag Göttingen. 161 p.
- [12] Walter, H. und Breckle, S. W. 1999. *Vegetation und Klimazonen*. 7. Aufl. Ulmer-Verlag, 544 pp.
- [13] Williams-Linera, G. V., Domínguez-Gastelu and Garcia-Zurita M. E. 1998. Microenvironment and floristic of different edges in a fragmented tropical rainforest. *Conservation Biology* 12 (5): 1091-1102