

Cuantificación de la fragmentación del paisaje y su relación con Sustentabilidad

(Measurement of the landscape fragmentation and its relation with sustainability)

Badii, M. H. y J. Landeros *

Resumen. Este trabajo enfoca sobre las diferentes medidas disponibles para cuantificar el grado de la fragmentación del hábitat. Se mencionan las diferentes métricas de la composición del paisaje y la configuración espacial. También se presentan las cinco métricas más relevantes para el cálculo de la pérdida y la fragmentación del hábitat, como medidas de extensión, subdivisión, la geometría, el contraste y la conectividad del hábitat. La fragmentación del hábitat constituye el mayor riesgo a la sustentabilidad.

Palabras claves: Fragmentación, metapoblación, sustentabilidad

Abstract. This paper focuses on different metrics used for measuring habitat fragmentation. Different measures for the habitat composition and configuration are highlighted. Furthermore, the five most relevant measures for the calculation of habitat loss and habitat fragmentation are noted. These metrics include the measurements of habitat extension, subdivision, geometry, contrast, and connectedness. Habitat fragmentation constitutes the greatest risk to sustainability.

Key words: Fragmentation, metapopulation, sustainability

Introducción

La fragmentación y la pérdida del hábitat productiva es el primer jinete de Apocalipsis ambiental y por tanto, constituye la peor amenaza en lo que se refiere a la pérdida de biodiversidad y los recursos bióticos (Badii y Ruvalcaba, 2006, Badii y Abreu, 2006). Como consecuencia de la fragmentación, un hábitat se fractura y se divide en varios fragmentos o islas y la capacidad productiva de estas islas en comparación con la del hábitat original, normalmente e históricamente, se disminuye, salvo la relación entre las fuentes y los resumideros y la estructura y la composición de los corredores biológicos (Badii et al, 1999).

Existen una extensa cantidad de métricas para cuantificar los patrones espaciales y configuración del paisaje, y aunque programas como FRAGSTATS (McGarigal y Marks, 1995, McGarigal et al., 2002) las calculan de manera rápida, la comprensión de dichas métricas es indispensable para su correcta utilización y análisis (Gergel y Turner, 2002). Para lograrlo a continuación se detallan las métricas más básicas incluyéndose ejemplos.

Métricas de la composición del paisaje.

- **Proporción (p_i) del paisaje.** La proporción ocupado por el i -ésimo tipo de fragmento es la más fundamental de las medidas y es calculada como sigue:

$$p_i = \frac{\text{Número total de celdas de la categoría } i}{\text{Número total de celdas en el paisaje}}$$

* **Dominancia (D) (O'Neill et al. 1988).** Se puede calcular como:

$$D = \frac{\ln(S) + \sum_i [p_i * \ln(p_i)]}{\ln(S)}$$

Donde, S es el número de tipos de cobertura, pi, es la proporción del i-ésimo tipo de cobertura. Los valores van de 0 a 1; los cercanos 1 indican un paisaje dominado por uno o varios tipos de cobertura, mientras que los cercanos a 0 indican que las proporciones de cada tipo de cobertura son casi iguales.

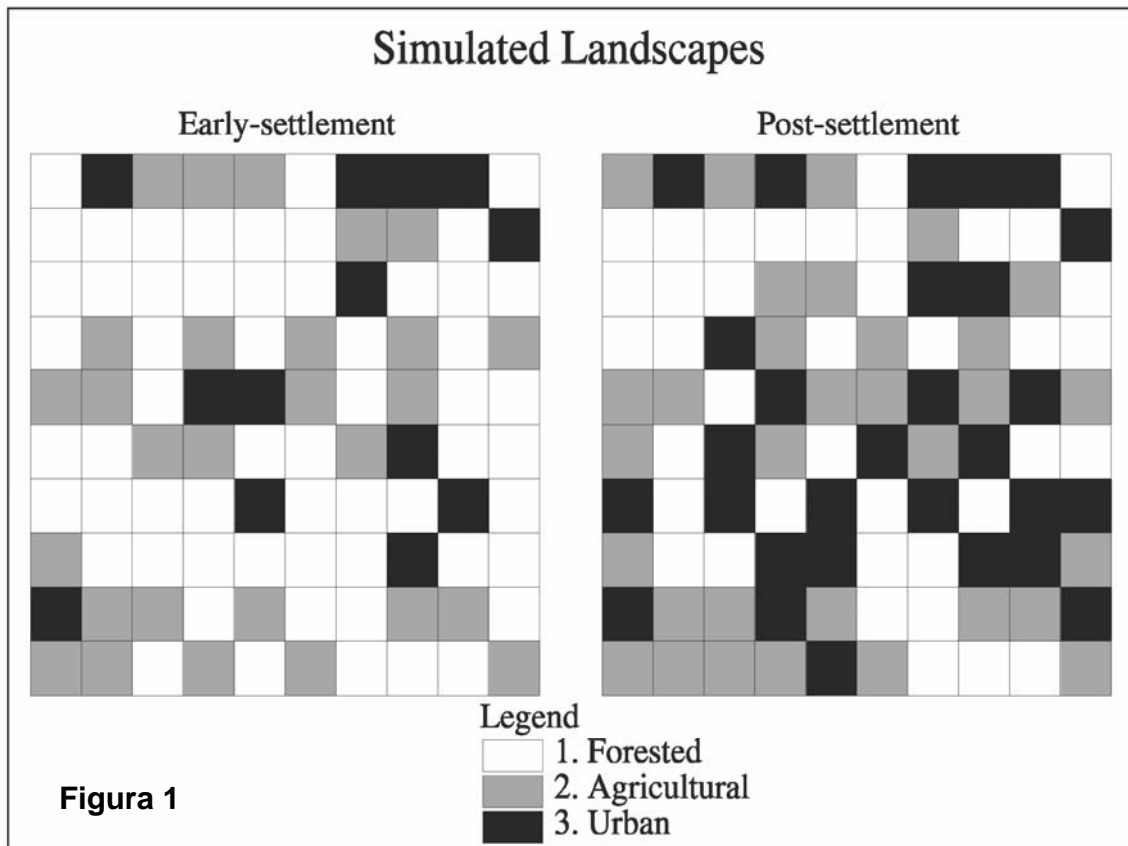
*

Equitatividad de Shannon (SHEI) (Pielou, 1975). Puede calcularse como:

$$SHEI = \frac{- \sum_i [p_i * \ln(p_i)]}{\ln(S)}$$

Donde, S es el número de tipos de cobertura, pi es la proporción del tipo de cobertura i-ésimo. Sus valores van desde 0 a 1; aquellos cercanos a 1 indican que las proporciones de cada tipo de cobertura son casi iguales, mientras que los cercanos a 0 indican que el paisaje se encuentra dominado por uno o unos pocos tipos de cobertura.

Ejemplo (Cardille y Turner, 2002): A partir de la Figura 1, calcule las métricas previamente descritas para ambos paisajes.



Tipo de Cobertura (Figura 1, Early Settlement)	n	p _i	ln(p _i)	p _i *ln(p _i)
Bosque	59	0.59	-0.528	-0.311
Agricultura	28	0.28	-1.273	-0.356
Urbanización	13	0.13	-2.040	-0.265
			Σ	-0.933
			ln(3)	1.099

$$D = \frac{1.099 + (-0.933)}{1.099} = 0.151$$

$$SHEI = \frac{-(-0.933)}{1.099} = 0.849$$

Tipo de Cobertura (Figura 1, Post settlement)	n	p _i	ln(p _i)	p _i *ln(p _i)
Bosque	39	0.39	-0.942	-0.367
Agricultura	32	0.32	-1.139	-0.365
Urbanización	29	0.29	-1.238	-0.359
			Σ	-1.091
			ln(3)	1.099

$$D = \frac{1.099 + (-1.091)}{1.099} = 0.007$$

$$SHEI = \frac{-(-1.091)}{1.099} = 0.993$$

Métricas de Configuración Espacial.

- * **Tamaño promedio del fragmento (MPS).** Es simplemente la media aritmética de cada fragmento de un tipo de cobertura dado. A menudo es calculado para cada tipo de cobertura como sigue:

$$MPS = \frac{\sum_{k=1}^m A_k}{m}$$

Donde, m= número de fragmentos para los cuales la media se está calculando y A_k = área del fragmento k-ésimo.

- * **Borde.** El número total de bordes en un paisaje es calculado contando los bordes entre los distintos tipos de cobertura para todo el paisaje. Cada borde en el paisaje es contado sólo una vez. Los cálculos de borde son a menudo utilizados para calcular proporciones borde-área. Por ejemplo, el borde lineal total en un paisaje puede ser dividido por el área del paisaje para obtener dicha proporción. También se pueden calcular por tipo de cobertura o por fragmentos individuales.
- * **Probabilidad de adyacencia ($q_{i,j}$).** Es la probabilidad de que una celda del tipo de cobertura i es adyacente a la celda del tipo de cobertura j. Esta métrica es sensible a una escala fina de distribución espacial y se calcula como sigue:

$$q_{i,j} = \frac{n_{i,j}}{n_i}$$

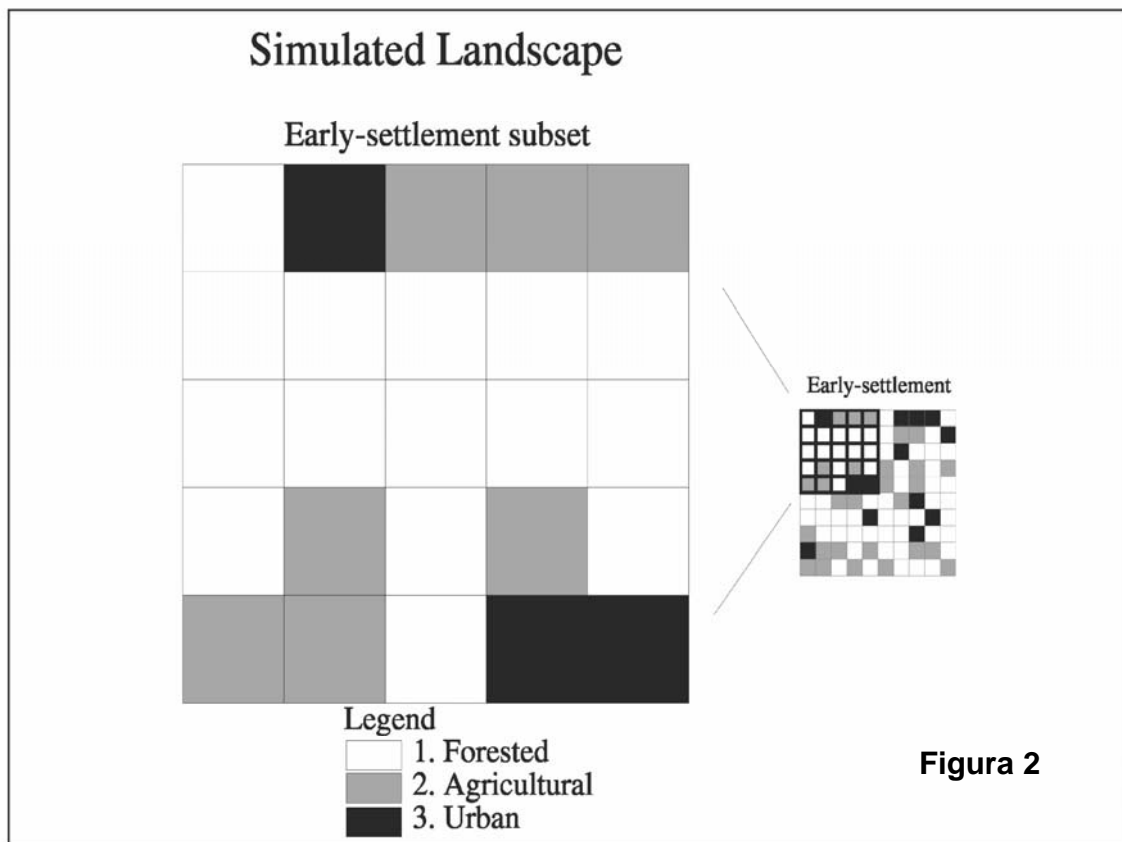
Donde, $n_{i,j}$ =número de adyacencias entre las celdas del tipo de cobertura i y el tipo de cobertura j, y n_i =número total de adyacencias por tipo de cobertura i. Los valores van de 0 a 1, donde los más altos indican un tipo de cobertura altamente agregado, mientras que los bajos indican que el tipo de cobertura tiende a encontrarse aislado. Las probabilidades de adyacencia son a menudo reportadas en una matriz SxS denominada como matriz Q.

- * **Contagio (C).** O'Neill et al. (1988) utiliza los valores de la matriz Q para calcular un índice del grado total de agrupamiento en el paisaje. La ecuación es la siguiente:

$$1 + \frac{\sum_i \sum_j [(p_i * q_{i,j}) * \ln(p_i * q_{i,j})]}{C_{\max}}$$

Donde, $q_{i,j}$ = probabilidades de adyacencia definidas anteriormente, y $C_{\max} = 2 * \ln(S)$, lo cual da el máximo valor del índice para un paisaje con S tipos de cobertura. Los valores van de 0 a 1, donde un valor alto indica patrones agrupados de tipos de cobertura, mientras que uno bajo indica un patrón disperso.

Ejemplo (Cardille y Turner, 2002): A partir de la Figura 2, calcule las métricas previamente descritas.



$$MPS = \frac{\sum_{k=1}^m A_k}{m}$$

Tipo de Cobertura	No. Fragmentos	Tamaño promedio del fragmento (MPS)	No. de bordes	Proporción borde:área
Bosque	1	15/1=15	15	15/5=1
Agricultura	3	7/3=2.33	13	13/7=1.857
Urbanización	2	3/2=1.5	6	6/3=2

$$q_{i,j} = \frac{n_{i,j}}{n_i}$$

	Bosque	Agricultura	Urbanización
Bosque	19/15=1.266	11/15=0.733	4/15=0.364
Agricultura	11/13=0.846	4/13=0.307	2/13=1.54
Urbanización	4/6=0.666	2/6=0.333	1/6=.166

	p_i	q_{ij}	$p_i * q_{ij}$	$\ln(p_i * q_{ij})$	$(p_i * q_{ij}) * \ln(p_i * q_{ij})$
BB	0.6	1.266	0.760	-0.275	-0.209
AB	0.28	0.846	0.237	-1.440	-0.341
UA	0.12	0.666	0.080	-2.527	-0.202
BA	0.6	0.733	0.440	-0.821	-0.361
AA	0.28	0.307	0.086	-2.454	-0.211
UA	0.12	0.333	0.040	-3.220	-0.129
BU	0.6	0.364	0.218	-1.521	-0.332
AU	0.28	0.154	0.043	-3.144	-0.136
UU	0.12	0.166	0.020	-3.916	-0.078
				$\Sigma\Sigma$	-1.999

$$1 + \frac{\sum_i \sum_j [(p_i * q_{i,j}) * \ln(p_i * q_{i,j})]}{C_{\max}}$$

$$C_{\max} = 2 * \ln(S)$$

$$1 + \frac{-1.999}{2.197} = 1 - 0.91 = 0.09$$

Para análisis más complejos donde la utilización de programas computacionales son indispensables, McGarigal et al. (2005) recomiendan las siguientes métricas para la cuantificación de la pérdida y fragmentación del hábitat, en base a los siguientes componentes espaciales principales.

1) Extensión del hábitat. Representa la cobertura total en área del hábitat de interés en el paisaje, y es una medida simple de composición del paisaje, representada por las siguientes métricas:

* **Porcentaje de paisaje.** Porcentaje del paisaje compuesto del hábitat de interés:

$$\%LAND = P_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100)$$

Donde, P_i equivale a la proporción del paisaje ocupado por el tipo de fragmentos i -ésimo; a_{ij} , es el área (m^2) del fragmento j -ésimo; y A es el área total del paisaje (m^2).

%LAND se acerca a 0 cuando el tipo de fragmento correspondiente se vuelve cada vez más raro en el paisaje. %LAND = 100 cuando todo el paisaje está compuesto de un solo tipo de fragmento. %LAND equivale a la suma de las áreas (m²) de todos los fragmentos del tipo correspondiente, dividido por el área total del paisaje (m²), multiplicado por 100 (para la conversión a porcentaje).

- * **Porcentaje de área núcleo del paisaje compuesto por el hábitat de interés.** C%LAND equivale a la suma de las áreas núcleo de cada fragmento (a_{ij}, en m²) del tipo de interés, dividido por el área total del paisaje (A, en m²):

$$C\%LAND = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^c}{A} (100)$$

C%LAND se aproxima a 0 cuando el área núcleo del tipo de fragmento correspondiente (clase) se vuelve cada vez más raro en el paisaje, debido a fragmentos más pequeños o formas de fragmento más intrincadas, o ambas. C%LAND se aproxima a 100 cuando todo el paisaje consiste de un solo tipo de fragmento y el ancho de borde especificado se aproxima a 0.

2) Subdivisión del hábitat. Tiene que ver con el grado en el cual el hábitat ha sido separado en fragmentos, no como el tamaño, forma, localización relativa, o arreglo espacial de dichos fragmentos. Debido a que estos últimos atributos son regularmente afectados por la subdivisión, es difícil asilar la subdivisión como un componente separado. Las mejores métricas para lograr su medición son las siguientes

- * **Número de fragmentos.** NP equivale al número de fragmentos del tipo correspondiente en el paisaje.

$$NP = n_i$$

- * **Densidad de fragmentos.** PD equivale al número de fragmentos del tipo correspondiente, dividido por el área total del paisaje, multiplicado por 10, 000 y 100 (para convertir a 100 ha.)

$$PD = \frac{n_i}{A} (10,000)(100)$$

- * **Agrupamiento.** Una medida útil de la subdivisión del área está dada por el índice de agrupamiento (CLUMPY), el cual mide el grado en el cual el hábitat de interés está agregado o agrupado dada su pareja total. CLUMPY (Gardner y O'Neill, 1991) es calculado a partir de la matriz de adyacencia, la cual muestra la frecuencia a la cual, diferentes pares de tipos de fragmentos aparecen juntos unos de otros en el mapa.

$$\text{Given } G_i = \left(\frac{g_{ii}}{\left(\sum_{i=1}^m g_{ii} \right) - \min e_i} \right)$$

$$\text{CLUMPY} = \left[\begin{array}{l} \frac{G_i - P_i}{P_i} \text{ for } G_i < P_i \& P_i < .5, \text{ else} \\ \frac{G_i - P_i}{1 - P_i} \end{array} \right]$$

Donde, g_{ii} es el número de adyacencias similares entre píxeles del fragmentos tipo i , g_{ik} es el número de adyacencias entre píxeles de fragmentos tipo i y k ; $\min e_i$ = perímetro mínimo (en número de de superficies de celda) del fragmento tipo i para una clase máximamente agrupada, y P_i es la proporción del paisaje ocupado por el fragmento tipo i . La fórmula es contingente a partir de G_i y P_i debido a que el valor mínimo de G_i tiene dos formas que dependen de P_i . Específicamente, cuando $P_i \leq 0.5$, $G_i = 0$; sin embargo, cuando $P_i \geq 0.5$, $G_i = 2P_i - 1$. Dada cualquier P_i , CLUMPY equivale a -1 cuando el tipo de fragmento de interés está disgregado al máximo; equivale a 0 , cuando está distribuido al azar, y se acerca a 1 , cuando está agregado al máximo.

- * **Grado de División del Paisaje.** Jaeger (2000) presentó un nuevo conjunto de índices que miden la subdivisión del hábitat desde un punto de vista geométrico y que son calculados a partir de la función acumulada de la distribución. DIVISION equivale a la probabilidad de que dos lugares elegidos al azar dentro del paisaje bajo estudio no estén situados en el mismo fragmento de hábitat contiguo. Por lo tanto, conforme el hábitat se vuelva cada vez más subdividido en parches pequeños, la probabilidad aumenta.

$$\text{DIVISION} = \left[1 - \sum_{j=1}^n \left(\frac{a_{ij}}{A} \right)^2 \right] \quad (100)$$

3) Geometría del fragmento. Está relacionada directamente con el carácter espacial de los fragmentos de hábitat.

- * **Índice de Área Núcleo.** El CAI es básicamente una tasa borde-interior como muchos índices de forma (McGarigal et al., 2002), la principal diferencia es que trata al borde como un área de ancho variable y no como una línea (perímetro) alrededor de cada fragmento.

$$CAI = \frac{a_{ij}^c}{a_{ij}} (100)$$

CAI equivale al área núcleo del fragmento (m²) dividido por el área total del fragmento (m²) multiplicado por 100. CAI=0 cuando CORE=0 (esto es, cada lugar dentro del fragmentos está dentro de la distancia de borde especificada desde el perímetro del fragmento); esto es, cuando el fragmentos no contiene área núcleo. CAI se aproxima a 100 cuando, el fragmento, debido a su tamaño, forma y ancho de borde, contiene principalmente área núcleo. CAI puede ser promediado para todos los fragmentos del hábitat de interés (con peso por área del fragmento) para proveer un índice del área total núcleo (TCAI):

$$TCAI = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^c}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} (100)$$

- * **Índice de Forma.** SHAPE equivale al perímetro del fragmento (p_{ij}, en m), dividido por la raíz cuadrada del área del fragmento (a_{ij}, en m²); puede ajustarse por medio de una constante para el estándar circular (Vector) o el estándar cuadrado (Raster):

Vector	Raster
$SHAPE = \frac{p_{ij}}{2\sqrt{\pi \cdot a_{ij}}}$	$SHAPE = \frac{0.25 p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}}$

- * **Índice de Densidad de Borde.** ED equivale a la suma de las longitudes (e_{ik}, en m) de todos lo segmentos de borde de los fragmentos del hábitat de interés, dividido por el área total del paisaje (A, en m²), multiplicado por 10, 000 (par convertir a hectáreas)

$$ED = \frac{\sum_{k=1}^{m'} e_{ik}}{A} (10,000)$$

4) Contraste.

- * **Índice de contraste de borde.** EDGECON equivale a la suma de las longitudes de los segmentos de borde de los fragmentos (p_{ijk} , en m) multiplicados por sus pesos de contraste correspondientes (d_{ik}), divididos por el perímetro total del fragmento (p_{ij} , en m), multiplicado por 100 (para convertir a porcentaje)

$$\text{EDGECON} = \frac{\sum_{k=1}^{m'} (p_{ijk} \circ d_{ik})}{p_{ij}} (100)$$

5) Aislamiento del hábitat. Se relaciona explícitamente con el contexto espacial y temporal de los fragmentos de hábitat, más que con el carácter espacial de los fragmentos en sí. El aislamiento es medido por el grado de contraste (ej. la magnitud de las diferencias en uno o más tributos entre tipos de fragmentos adyacentes) entre el hábitat de interés y los fragmentos vecinos.

- * **Índice de Similitud.** SIMILAR es una medida a nivel fragmento de la similitud del vecino (McGarigal et al., 2002). Considera el tamaño y la proximidad de todos los fragmentos, a pesar de la clase, cuyos bordes se encuentran dentro de un radio específico de búsqueda del hábitat de interés.

$$\text{SIMILAR} = s_{ij} = \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs} * d_{ik}}{h_{ijs}^2}$$

Donde, a_{ijs} es el área (m^2) del fragmento ijs dentro de la vecindad específica (m) a partir del fragmento de interés; d_{ik} es la similitud (coeficiente entre 0-1) entre el fragmento de interés (tipo i) y el fragmento k -ésimo dentro de la vecindad especificada; y h_{ijs} es la distancia (m) entre el fragmento de interés y el fragmentos vecino ijs , basado en la distancia borde-a borde del fragmento. SIMILAR puede ser promediado entre todos los fragmentos de la clase de interés (con peso por área) para proveer de una medida a nivel clase:

$$\text{SIMILAR-AM} = \sum_{j=1}^n \left[s_{ij} \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right) \right]$$

SIMILAR-AM equivale a 0 si todos los fragmentos al rededor de los fragmentos de hábitat de interés tienen un coeficiente de similitud de cero (máximos contrastes).

6) Conectividad del hábitat. Integra todos los componentes anteriores e involucra tanto el componente estructural (continuidad) y el componente funcional (conectividad).

- * **Longitud de correlación.** Una medida útil de continuidad o conectividad estructural del hábitat, es el índice de longitud de correlación (CLI, Keitt et al., 1997), la cual se deriva del radio del giro del fragmento (GYRATE), como sigue:

$$\text{GYRATE} = g_{ij} = \sum_{r=1}^z \frac{h_{ijr}}{z}$$

Donde h_{ijr} es la distancia (m) entre la celda i_{jr} (localizada dentro del fragmento ij) y el centroide del fragmento ij (la localización promedio), basado en la distancia de centro a centro de las celdas; y z es el número de celdas en el fragmento ij . GYRATE equivale a la distancia media (m) entre cada celda en el fragmento y el centroide del fragmento y representa la distancia media que un organismo puede moverse y permanecer dentro de los límites del fragmento. El índice de longitud de correlación es calculado como promedio de giración del radio del fragmento con peso de área (GYRATE_AM), como sigue:

$$\text{CLI} = \text{GYRATE_AM} = \sum_{j=1}^n \left[g_{ij} \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right) \right]$$

donde a_{ij} es el área del fragmento ij . CLI equivale a 0 cuando el hábitat consiste de fragmentos de una sola celda e incrementa conforme el fragmento incrementa su extensión. Fragmentos largos y prolongados extendidos sobre un mayor espacio proveen de una mayor conectividad al hábitat.

- * **Índice de Capacidad de Cruce.** Es una medida útil de la conectividad funcional del hábitat (TRAVERSE), basada en la idea de resistencia ecológica (McGarigal et al., 2002). La premisa es que un organismo hipotético que se está dispersando desde una celda de hábitat de interés en una vecindad altamente cruzable puede alcanzar una gran área con un mínimo de cruces por celdas “hostiles”.

$$\text{TRAVERSE} = \left[\frac{\left(\frac{\sum_{r=1}^z t_{ir}}{z_i} \right)}{t_{\max}} \right] \quad (100)$$

Donde, t_{ijr} es el área casco menor alrededor de la celda r -ésima en el fragmento del tipo de interés (i), z_i es el número total de celdas en el tipo de fragmento de interés

(i); y t_{max} es el máximo costo mínimo de área casco alrededor de una celda del fragmento de interés (i) dada una resistencia mínima. TRAVERSE equivale a 0 cuando el hábitat de interés consiste de fragmentos de una o más celdas rodeados de tipos de fragmento hostiles que previenen cualquier movimiento (que funcionan como barreras). TRAVERSE equivale a 100 cuando el hábitat de interés es rodeado por tipos de fragmento de resistencia mínima.

Conclusiones

Tenemos que admitir que la pérdida y la fragmentación del hábitat productivo es realmente un problema de máxima magnitud en lo que se refiere al estado de salud del medio ambiente. La fragmentación sucede tanto de manera natural, es decir, por los ingenieros de ecosistemas, como por el papel directo del hombre. Los ingenieros de ecosistemas son todos los organismos que por la virtud de realizar sus actividades vitales para sobrevivir y reproducir (aptitud ecológica) ocasionan alteraciones en la geometría del paisaje. El ingeniero número uno es obviamente, el *Homo sapiens*. Los castores constituyen el número dos en este sentido, y hay presas hechas por ellos que todavía son funcionales y datan de más de 1000 años, por ejemplo en Canadá. El papel del hombre está caracterizado por las actividades de urbanización, agricultura y industrialización que modifican grandemente la escala espacial. Estos cambios en los hábitats productivos, claramente, reducen la capacidad de la producción de los mismos, y por consecuencia, generan un impacto negativo de suma magnitud sobre la capacidad de los recursos a responder a las necesidades del consumo de la humanidad. Una vez convencidos del gran relevancia de la fragmentación, lo que queda es promover programas para el manejo racional de los hábitats con la mira hacia la disminución del impacto negativo de la fragmentación. Esto, obviamente, requiere de la medición científica, en el primer paso, del grado de la fragmentación, para después, poder conducir programas de mejoramiento de los paisajes afectados. Es por esto, que en este artículo, presentamos las diferentes medidas que se utilizan para la cuantificación de la pérdida y la fragmentación del hábitat.

Referencias

- Badii, M. H. y J. L. Abreu. 2006. Metapoblación, conservación de recursos y sustentabilidad. *Daena*, 1(1): 37-51.
- Badii, M. H. y I. Ruvalcaba. 2006. Fragmentación del hábitat: el primer jinete de Apocalipsis. *Calidad Ambiental*, XII(3): 8-13.
- Badii, M. H., A. E. Flores, H. Quiróz y R. Foroughbakhch. 1999. Metapoblación; teoría y aplicación. *Ciencia UANL*, II(2): 133-140.
- Cardille, J. A. y M. G. Turner. 2002. Understanding Landscape Metrics I. En: Gergel, S. E. y M. G. Turner (eds). *Learning Landscape Ecology. A Practical Guide to Concept and Techniques*. pp: 85-111. Springer-Verlag New York, Inc.
- Gardner, R. H. y R. V. O'Neill. 1991. Pattern, process and predictability: the use of neutral models for landscape analysis. En M. G. Turner y R. H. Gardner (eds.). *Quantitative methods in landscape ecology*. pp: 289-308. Springer-Verlag, New York.
- Gergel, S. E. y M. G. Turner. 2002. *Learning Landscape Ecology. A Practical Guide to Concept and Techniques*. Springer-Verlag New York, Inc. 316 pp.
- Jaeger, J.A.G. 2000. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology* 15:115-130.

- Keitt, T. H., D. L. Urban, y B. T. Milne. 1997. Detecting critical scales in fragmented landscapes. *Conservation Ecology* 1(1):4.
- McGarigal, K., y B. J. Marks. 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. U.S. For. Serv. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. 122 pp.
- McGarigal, K.; S. Cushman; y C. Regan. 2005 (enviado). Quantifying terrestrial habitat loss and fragmentation: a protocol. USDA Gen. Tech. Rep. Rocky Mountain Region. 115 pp.
- McGarigal, K., S. A. Cushman, M. C. Neel, y E. Ene. 2002. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Disponible en: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- O'Neill, R. V.; J. R. Krummel; R. H. Gardner; G. Sugihara; B. Jackson; D. L. DeAngelis, B. T. Milne; M. G. Turner; B. Zygmunt; S. Christensen; V. H. Dale y R. L. Graham. 1988. Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology* 1:153-162.
- Pielou, E. C. 1975. *Ecological Diversity*. Wiley-Interscience. New York.
-

***Acerca de los autores**

El Dr. Mohammad Badii es Profesor e Investigador de la Universidad Autónoma de Nuevo León. San Nicolás, N. L., México, 66450. mhbadii@yahoo.com.mx

El Dr. J. Landeros es Profesor e Investigador de la UAAAN, Saltillo, Coah.