

## Nomenclatura, formulación y descripción de los índices espaciales del paisaje utilizados (Mc Garigal and Marks, 1996)

### 1. Área Total (TA) *Total Area*

$$TA = A \left( \frac{1}{10,000} \right)$$

Unidades: Hectáreas

Rango:  $TA > 0$ , sin límite superior

Descripción: TA es igual a la superficie total expresada en hectáreas. La formula anterior refleja la conversión de  $m^2$  en hectáreas.

### 2. Índice de la Mayor Tesela (LPI) *Largest Patch Index*

$$LPI = \frac{\max_{j=1}^n (a_{ij})}{A} (100)$$

Unidades: Porcentaje

Rango:  $0 < LPI < 100$

LPI se acerca a 0 cuando la tesela mayor del paisaje es muy pequeña. LPI vale 100 cuando todo el paisaje está conformado por una única tesela.

Descripción: LPI es igual al area ( $m^2$ ) de la tesela mayor del paisaje, dividido por el área total del paisaje ( $m^2$ ), multiplicado por 100 (para expresarlo en porcentaje). LPI es el porcentaje del paisaje ocupado por la tesela mayor.

### 3. Número de teselas (NP) *Number of Patches*

$$NP = N$$

Unidades: Ninguna

Rango: NP igual o mayor de 1, sin límite superior.

$NP = 1$  cuando todo el paisaje está formado por una sola tesela.

Descripción: NP es igual al número de teselas presentes en un paisaje. En NP no se incluye ninguna tesela de fondo situada dentro del perímetro del paisaje, ni teselas situadas en la frontera del paisaje.

#### 4. Densidad de teselas (PD) *Patch Density*

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

Unidades: Número por 100 hectáreas.

Rango:  $PD > 0$ , sin límite superior.

Descripción: PD es igual al número de teselas del paisaje dividido por la superficie total del paisaje, multiplicada por 10.000 y por 100, para convertirlo a 100 hectáreas.

#### 5. Tamaño medio teselar (MPS) *Mean Patch Size*

$$MPS = \frac{A}{N} \left( \frac{1}{10,000} \right)$$

Unidades: Hectáreas

Rango:  $MPS > 0$ , sin límite.

El rango de MPS está limitado por el granulado y la amplitud de la imagen, y por el mínimo tamaño de tesela.

Descripción: MPS es igual a la superficie total del paisaje ( $m^2$ ), dividida por el número total de teselas, y todo ello dividido por 10.000 para convertirlo en hectáreas.

#### 6. Desviación típica del tamaño teselar (PSSD) *Patch Size Standart Deviation*

$$PSSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ a_{ij} - \left( \frac{A}{N} \right) \right]^2}{N}} \left( \frac{1}{10,000} \right)$$

Unidades: Hectáreas.

Rango: PSSD es mayor o igual a 0, sin límite superior

PSSD es 0 cuando todas las teselas del paisaje tienen el mismo tamaño o cuando hay solo una tesela, es decir, cuando no hay variabilidad en el tamaño de las teselas.

Descripción: PSSD es igual a la raíz cuadrada de la suma de las desviaciones típicas de cada una de las áreas teselares respecto del tamaño medio teselar (MPS), dividido por el número total de teselas, y dividido por 10.000 (para convertirlo a hectáreas); esto es, la raíz cuadrada del error cuadrático medio del tamaño teselar. Se trata de una desviación típica poblacional, no una desviación típica muestral.

## 7. Longitud total de bordes de teselas (TE) *Total Edge*

$$TE = E$$

Unidades: metros

Rango: TE es igual o mayor de 0, sin límite superior.

TE = 0 cuando no hay bordes teselares en el paisaje. Esto es, cuando todo el paisaje está constituido por una única tesela y el usuario especifica que ninguna de las fronteras del paisaje o los bordes de fondo deben ser incluidos.

Descripción: TE es igual a la suma de las longitudes de todos los segmentos de borde. Si hay alguna frontera de paisaje, TE incluye aquellos segmentos que constituyan un verdadero borde teselar. Si la frontera del paisaje está ausente, TE incluye las porciones que especifique el usuario. Haya o no haya frontera de paisaje, TE incluye la porción que especifique el usuario de borde de fondo.

## 8. Densidad de bordes teselares (ED) *Edge Density*

$$ED = \frac{E}{A} (10,000)$$

Unidades: Metros por hectárea

Rango: ED es igual o mayor de 0 sin límite superior

ED = 0 cuando no hay bordes teselares en el paisaje, esto es, cuando todo el paisaje está formado por una única tesela.

Descripción: ED es igual a la suma de las longitudes (m) de todos los bordes teselares presentes en el paisaje, multiplicada por 10.000 (para convertirla a hectáreas). Si una frontera de paisaje está presente, ED incluye los segmentos de fronteras entre paisajes que representan verdaderos bordes. Si no hay fronteras entre paisajes, ED incluye la porción de frontera de paisaje que especifique el usuario. Haya o no haya fronteras entre paisajes, ED incluye la porción de borde de fondo que especifique el usuario.

## 9. Índice de forma del paisaje (LSI) *Landscape Shape Index*

$$LSI = \frac{E'}{2\sqrt{\pi} \cdot A} \quad LSI = \frac{.25 E'}{\sqrt{A}}$$

Unidades: Ninguna

Rango: LSI es igual o superior a 1, sin límite superior

LSI = 1, cuando el paisaje está formado por una única tesela circular (formato vectorial) o cuadrada (formato raster). LSI crece sin límite cuando la forma del paisaje se vuelve más irregular y/o crece la longitud de los bordes teselares internos del paisaje.

Descripción: LSI es igual a la suma de las fronteras del paisaje (sean o no sean verdaderos bordes) y todos los segmentos de bordes teselares (m) internos del paisaje, dividida por la raíz cuadrada del área

total del paisaje ( $m^2$ ), ajustada mediante una constante estándar circular (formato vectorial) o constante estándar cuadrada (formato raster).

#### 10. Índice medio de forma (MSI) *Mean Shape Index*

$$MSI = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left( \frac{p_{ij}}{2\sqrt{\pi \cdot a_{ij}}} \right)}{N} \qquad MSI = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left( \frac{.25 p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \right)}{N}$$

Unidades: Ninguna

Rango: MSI es igual o mayor de 1, sin límite superior.

MSI = 1 cuando todas las teselas del paisaje son circulares (formato vectorial) o cuadradas (formato raster). MSI crece sin límite cuando las formas de las teselas se vuelven mas irregulares.

Descripción: MSI es igual a la suma del perímetro teselar ( $m$ ) dividido por la raíz cuadrada de área teselar ( $m^2$ ) de cada tesela, ajustada mediante una constante al estándar circular (formato vectorial) o al estándar cuadrado (formato raster), dividida por el número de teselas (NP); en otras palabras, MSI es el promedio del Índice de forma (SHAPE) de las teselas presentes en el paisaje.

#### 11. Índice medio de forma, ponderado por el área (AWMSI) *Area-weighted Mean Shape Index*

$$AWMSI = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ \left( \frac{p_{ij}}{2\sqrt{\pi \cdot a_{ij}}} \right) \left( \frac{a_{ij}}{A} \right) \right]}{N} \qquad AWMSI = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ \left( \frac{.25 p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \right) \left( \frac{a_{ij}}{A} \right) \right]}{N}$$

Unidades: Ninguna

Rango: AWMSI es igual o mayor que 1, sin límite superior

AWMSI = 1 cuando todas las teselas del paisaje son circulares (formato vectorial) o son cuadradas (formato raster); AWMSI crece sin límite cuando las formas de las teselas se vuelven mas irregulares.

Descripción: AWMSI es igual a la suma, para todas las teselas, de su perímetro ( $m$ ) dividido por la raíz cuadrada de su área ( $m^2$ ), ajustada por una constante para el estándar circular (formato vectorial) o para el estándar cuadrado (formato raster), multiplicado por el área de la tesela ( $m^2$ ) dividido por el área total del paisaje. En otras palabras, AWMSI es el promedio del índice de forma (SHAPE) de las teselas, ponderado por el área de la tesela, de modo que las teselas mayores pesan mas que las menores.

#### 12. Dimensión fractal teselar media (MPFD) *Mean Patch Fractal Dimension*

$$MPFD = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left( \frac{2 \ln p_{ij}}{\ln a_{ij}} \right)}{N} \qquad MPFD = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left( \frac{2 \ln(.25 p_{ij})}{\ln a_{ij}} \right)}{N}$$

Unidades: Ninguna

Rango: MPFD es mayor o igual a 1, y tiene límite superior igual a 2

Una dimensión fractal superior a 1 en un mosaico bidimensional indica una separación respecto de la métrica euclídea ( es decir un incremento de complejidad de forma teselar) MPFD se acerca a 1 en formas de perímetros muy sencillos tales como círculos o cuadrados, y se acerca a 2 en formas de perímetros altamente lobulados.

Descripción: MPFD es igual a la suma del doble del logaritmo del perímetro de las teselas (m) dividido por el logaritmo del área teselar (m<sup>2</sup>) para cada tesela del paisaje, dividido por el número de teselas; La fórmula raster está ajustada para evitar el sesgo del perímetro (Li, 1989).

### 13. Dimensión fractal teselar media ponderada por el área (AWMPFD) *Area-Weighted Mean Patch Fractal Dimension*

$$AWMPFD = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ \left( \frac{2 \ln p_{ij}}{\ln a_{ij}} \right) \left( \frac{a_{ij}}{A} \right) \right]$$

$$AWMPFD = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ \left( \frac{2 \ln(.25 p_{ij})}{\ln a_{ij}} \right) \left( \frac{a_{ij}}{A} \right) \right]$$

Unidades: Ninguna

Rango: AWMPFD es mayor o igual a 1, y tiene límite superior igual a 2

Una dimensión fractal superior a 1 en un mosaico bidimensional indica una separación respecto de la métrica euclídea ( es decir un incremento de complejidad de forma teselar) AWMPFD se acerca a 1 en formas de perímetros muy sencillos tales como círculos o cuadrados, y se acerca a 2 en formas de perímetros altamente lobulados.

Descripción: AWMPFD es igual a la suma, para todas las teselas, de 2 veces el logaritmo del perímetro teselar (m) dividida por el logaritmo del área teselar (m<sup>2</sup>), multiplicada por el área teselar (m<sup>2</sup>) dividida por el área total del paisaje; La fórmula raster está ajustada para corregir el sesgo del perímetro (Li, 1989). En otras palabras, AWMPFD es el promedio de las dimensiones fractales (FRACT) de las teselas del paisaje, ponderadas por el área teselar.

### 14. Área Total de zonas nucleares (TCA) *Total Core Area*

$$TCA = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^c \left( \frac{1}{10,000} \right)$$

Unidades: Hectáreas

Rango: TCA es igual o mayor de cero, sin límite superior

TCA = 0 cuando todos los puntos situados en el interior de la tesela esta dentro de una distancia del borde especificada desde los perimetros de las teselas. TCA se acerca a la superficie total del paisaje cuando la distancia del borde se reduce y cuando las formas teselares son muy simples

Descripción: TCA es igual a la suma de las zonas nucleares de cada tesela (m<sup>2</sup>) dividida por 10.000 (para convertir en hectáreas).

15. Número de zonas nucleares (NCA) *Number of Core Areas*

$$NCA = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n n_{ij}^{\zeta}$$

Unidades: Ninguna

Rango: NCA es igual y superior a 0, sin límite superior

NCA = 0 cuando TCA = 0 (todos los puntos dentro de cada tesela está dentro de una distancia borde especificada desde los perímetros teselares). En otras palabras, cuando no hay zonas nucleares

Descripción: NCA es igual a la suma del número de zonas nucleares disjuntas contenidas dentro de cada tesela del paisaje, esto es, el número de zonas nucleares disjuntas contenidas dentro de un paisaje.

16. Densidad de zonas nucleares (CAD) *Core Area Density*

$$CAD = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n n_{ij}^{\zeta}}{A} (10,000) (100)$$

Unidades: Número por 100 hectáreas

Rango: CAD es igual o superior a 0, sin límite superior.

CAD = 0 cuando TCA = 0 (todos los puntos dentro de cada tesela está dentro de una distancia borde especificada desde los perímetros teselares). En otras palabras, cuando no hay zonas nucleares

Descripción: CAD es igual a la suma del número de zonas nucleares disjuntas contenidas dentro de cada tesela, dividida por el área total del paisaje, multiplicada por 10.000 y 100 (para convertirlo en 100 hectáreas)

17. Promedio de zona nuclear por tesela (MCA1) *Mean Core Area per patch*

$$MCA1 = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^{\zeta}}{N} \left( \frac{1}{10,000} \right)$$

Unidades: Hectáreas.

Rango: MCA1 es mayor o igual a 0, sin límite superior.

En ultimo término, el rango de MCA1 está limitado por el granulado y la extensión de la imagen y el mínimo tamaño teselar de la misma forma que queda limitado MPS, pero MCA1 está también influido por la amplitud de borde que se especifique. MCA1 = 0 cuando TCA = 0 (p.e.: todos los puntos dentro de cada tesela están dentro de la distancia de borde que se especifique en los parámetros teselares); en

otras palabras, cuando no hay zonas nucleares. MCA1 se acerca a MPS cuando la anchura de borde especificada decrece y cuando las formas teselares son más sencillas.

Descripción: MCA1 es igual a la suma de las áreas nucleares de cada tesela (m<sup>2</sup>), dividido por el número de teselas, dividido por 10.000 (para convertirlo en hectáreas). Obsérvese que MCA1 es el promedio de áreas nucleares teselares, no el promedio del tamaño de áreas nucleares disjuntas, tal como es en MCA2.

### 18. Desviación típica del área nuclear teselar (CASD1) *Patch Core Area Standard Deviation*

$$CASD1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ a_{ij}^c - \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^c}{N} \right]^2}{N}} \left( \frac{1}{10,000} \right)$$

Unidades Hectáreas.

Rango: CASD1 es mayor o igual a 0, sin límite superior

CASD1 = 0 cuando todas las teselas del paisaje tienen la misma área nuclear o cuando hay solamente una tesela (p.e., no hay variabilidad en las áreas nucleares).

Descripción: CASD1 es igual a la raíz cuadrada de la suma de desviaciones típicas de las áreas nucleares teselares (m<sup>2</sup>) respecto de la media de área nuclear por tesela (MCA1), dividida por 10.000 para convertirlo en hectáreas; esto es, error cuadrático medio de las áreas nucleares. Obsérvese que es la desviación típica poblacional, no la desviación típica muestral, y que CASD1 refleja la variación de las áreas nucleares dentro de las teselas, no entre áreas nucleares disjuntas, tal como es en CASD2.

### 19. Índice de área nuclear total (TCAI) *Total Core Area Index*

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

Unidades: Porcentaje.

Rango: TCAI oscila entre 0 y 100.

TCAI = 0 cuando ninguna de las teselas del paisaje contiene áreas nucleares (p.e.: CORE = 0 en todas las teselas; esto es, cuando el paisaje no contiene ningún área nuclear. TCAI se acerca a 100 cuando las teselas, debido a su tamaño, forma o anchura de borde, contienen de manera mayoritaria áreas nucleares.

Descripción: TCAI es igual a la suma de áreas nucleares de cada tesela ( $m^2$ ), dividido por el área total del paisaje ( $m^2$ ), multiplicado por 100 (Para convertirlo en %); esto es, TCAI es el porcentaje del paisaje que es área nuclear.

## 20. Índice de área nuclear promedio (MCAI) *Mean Core Area Index*

$$MCAI = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left( \frac{a_{ij}^c}{a_{ij}} \right)}{N} (100)$$

Unidades: Porcentaje.

Rango: MCAI oscila entre 0 y 100

MCAI = 0 cuando ninguna de las teselas del paisaje presentan nuclear (p.e.; CORE = 0 en cada tesela). MCAI se acerca a 100 cuando las teselas, debido a su tamaño, forma o anchura de borde, contiene mayoritariamente área nuclear.

Descripción: MCAI es la suma de las proporciones de cada tesela que están en el área nuclear (p.e. el área nuclear de cada tesela ( $m^2$ ) dividida por el área de cada tesela ( $m^2$ )), dividida por el número de teselas, multiplicada por 100 (para convertirlo en porcentaje); en otras palabras, MCAI es el porcentaje promedio de una tesela del paisaje que es área nuclear.

## 21. Índice de diversidad de Shannon (SHDI) *Shannon's Diversity Index*

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

Unidades: Ninguna

Rango: SHDI es mayor o igual a 0, sin límite superior.

SHDI = 0 cuando el paisaje contiene una sola tesela (p.e. no diversidad). SHDI crece cuando el número de tipos diferentes de teselas (p.e. la riqueza de teselas PR) crece y/o la distribución proporcional del área entre los tipos de teselas se iguala.

Descripción: SHDI es igual a menos la suma, para todos los tipos de teselas, de la abundancia proporcional de cada tipo de tesela multiplicada por el logaritmo neperiano de tal abundancia proporcional.

## 22. Índice de diversidad de Simpson (SIDI) *Simpson Diversity Index*

$$SIDI = 1 - \sum_{i=1}^m P_i^2$$

Unidades: ninguna.

Rango: SIDI oscila entre 0 y 1

SIDI = 0 cuando el paisaje contiene una sola tesela (p.e. no diversidad). SIDI se acerca a 1 cuando el número de tipos diferentes de teselas (p.e. la riqueza de teselas PR) crece y/o la distribución proporcional del área entre los tipos de teselas se iguala.

Descripción: SIDI es igual a 1 menos la suma, para todos los tipos de tesela, del cuadrado de la abundancia proporcional de cada tipo de tesela.

### 23. Índice modificado de diversidad de Simpson (MSIDI) *Modified Simpson's Diversity Index*

$$\text{MSIDI} = -\ln \sum_{i=1}^m P_i^2$$

Unidades: Ninguna.

Rango: MSIDI es mayor o igual a 0, sin límite superior.

MSIDI = 0 cuando el paisaje contiene una sola tesela (p.e. no diversidad). MSIDI crece cuando el número de tipos diferentes de teselas (p.e. la riqueza de teselas PR) crece y/o la distribución proporcional del área entre los tipos de teselas se iguala.

Descripción: MSIDI es igual a menos logaritmo neperiano de la suma, para todos los tipos de tesela, de la abundancia proporcional al cuadrado de cada un tipo de tesela.

### 24. Riqueza de teselas (PR) *Patch Richness*

$$\text{PR} = m$$

Unidades: ninguna

Rango: PR es mayor o igual a 1, sin límite superior.

Descripción: PR es igual al número de tipos de tesela diferentes presentes dentro de las fronteras del paisaje.

### 25. Densidad de riqueza de teselas (PRD) *Patch Richness Density*

$$\text{PRD} = \frac{m}{A} (10,000) (100)$$

Unidades: Número de teselas por cada 100 hectáreas.

Rango: PRD es mayor que 0, sin límite superior.

Descripción: PR es igual al número de tipos de tesela distintos presentes dentro del paisaje, dividido por el área total (m<sup>2</sup>) del paisaje, multiplicado por 10.000 y 100 (para convertir a 100 hectáreas).

## 26. Riqueza teselar relativa (RPR) *Relative Patch Richness*

$$RPR = \frac{m}{m_{max}} (100)$$

Unidades: Porcentaje

Rango: RPR varia de 0 a 100

RPR se acerca a 0 cuando el paisaje contiene un único tipo de tesela, aunque el número de tipos potenciales de tesela sea muy numeroso. RPR = 100 cuando todos los posibles tipos de tesela están representados en el paisaje. RPR debe quedar reflejado por NA en el archivo “basename.full, o por un punto en el archivo “basename.land” si el usuario no especifica máximo número de clases.

Descripción: RPR es el igual al número de tipos teselares presentes dentro de las fronteras de un paisaje dividido por el máximo número posible de tipos de teselas basados en una clasificación de tipos de teselas, multiplicado por 100 (para convertirlo en porcentaje).

## 27. Índice de uniformidad de Shannon (SHEI) *Shannon's Evenness Index*

$$SHEI = \frac{-\sum_{i=1}^m (P_i \cdot \ln P_i)}{\ln m}$$

Unidades: Ninguna

Rango: SHEI varía entre 0 y 1

SHDI = 0 cuando el paisaje presenta solo una única tesela (p.e., sin diversidad) y se acerca a 0 cuando la distribución de áreas entre los distintos tipos de tesela se vuelve crecientemente desigual (p.e., dominado por un solo tipo). SHDI = 1 cuando la distribución de áreas entre los distintos tipos de teselas es perfectamente igual. (p.e., son iguales las abundancias proporcionales de cada tipo de tesela).

Descripción: SHEI es igual a menos la suma, para todos los tipos de tesela, de las abundancias proporcionales de cada tipo de tesela multiplicado por el logaritmo neperiano de tal proporción, todo ello dividido por el logaritmo del número de tipos de tesela. En otras palabras, el valor observado del Índice de diversidad de Shannon, dividido por el máximo valor posible del Índice de diversidad de Shannon para tal número de tipos de teselas.

28. Índice de uniformidad de Simpson (SIEI) *Simpson's Evenness Index*

$$SIEI = \frac{1 - \sum_{i=1}^m P_i^2}{1 - \left(\frac{1}{m}\right)}$$

Unidades: Ninguna

Rango: SIEI varía entre 0 a 1

SIEI = 0 cuando el paisaje presenta solo una única tesela (p.e., sin diversidad) y se acerca a 1 cuando la distribución de áreas entre los distintos tipos de tesela se vuelve crecientemente desigual (p.e., dominado por un solo tipo). SIEI = 1 cuando la distribución de áreas entre los distintos tipos de teselas es perfectamente igual. (p.e., son iguales las abundancias proporcionales de cada tipo de tesela).

Descripción: SIEI es igual a 1 menos la suma, para todos los tipos de tesela, del cuadrado de las abundancias proporcionales de cada tipo de tesela, todo ello dividido por 1 menos 1 dividido por el número de tipos de tesela. En otras palabras, el Índice de diversidad de Simpson observado, dividido por el máximo valor posible Índice de diversidad de Simpson para ese número de tipos teselares.

29. Índice modificado de uniformidad de Simpson (MSIEI) *Modified Simpson Evenness Index*

$$MSIEI = \frac{-\ln \sum_{i=1}^m P_i^2}{\ln m}$$

Unidades: Ninguna.

Rango: MSIEI varía entre 0 y 1.

MSIEI = 0 cuando el paisaje presenta solo una única tesela (p.e., sin diversidad) y se acerca a 1 cuando la distribución de áreas entre los distintos tipos de tesela se vuelve crecientemente desigual (p.e., dominado por un solo tipo). MSIEI = 1 cuando la distribución de áreas entre los distintos tipos de teselas es perfectamente igual. (p.e., son iguales las abundancias proporcionales de cada tipo de tesela).

Descripción: MSIEI es igual a 1 menos el logaritmo de la suma, para todos los tipos de tesela, de los cuadrados de la abundancia proporcional de cada tipo teselar, dividido por el logaritmo del número de tipos teselares. En otras palabras, el valor observado del Índice de Simpson modificado dividido por el máximo valor posible del Índice de Simpson modificado, para ese número de tipos teselares.