

## Anexo 1

### Instrumento 2: Lista Preliminar de Indicadores para Caracterización y Modelación de los sistemas Bióticos

Los indicadores inicialmente propuestos para la EAE, tienen como propósito definir una serie de índices que permitan evaluar:

**La vulnerabilidad de la matriz territorial (ecosistemas y paisajes)** a los impactos que puedan ocasionar los diferentes planes y programas planteados, es decir, la evaluación acerca de si se mantiene la oferta de bienes y servicios ambientales dentro de la región en estudio; si la composición y estructura del paisaje, los ecosistemas y las comunidades bióticas garantizan la oferta natural de bienes y servicios ambientales, y si los factores físicos que influyen en la dinámica de los ecosistemas favorecen la oferta natural de bienes y servicios ambientales. Para ello se tendrán en cuenta los siguientes indicadores:

- Extensión por tipo de cobertura y uso del territorio
- Extensión relativa por tipo de cobertura y uso del territorio
- Extensión por tipo de ecosistema o ecoregión
- Extensión relativa por tipo de ecosistema o ecoregión
- Extensión por tipo de área protegida
- Extensión relativa por tipo de área protegida

**La valoración del patrimonio biótico y paisajístico**, la cual se representa como una síntesis de las variables biogeográficas y ecológicas que le dan al territorio evaluado aspectos importantes de fragilidad, excepcionalidad y rareza

- Número de individuos de especies de fauna, endémicas, raras o en peligro de extinción
- Número de individuos de especies de flora, endémicas, raras o en peligro de extinción
- Diversidad biológica por ecosistema y área protegida

**La conectividad ecológica**, evaluada a partir de la configuración espacial de los paisajes en el área de estudio, a partir de su grado de fragmentación, conectividad y dinámica espacial.

- Variación en la densidad de parches

- Variación en el tamaño medio de los parches
- Variación en el índice de proximidad de parches
- Variación en la dominancia de parches
- Variación de la dimensión fractal

## FICHAS DE INDICADORES

HOJA DESCRIPTIVA DE INDICADOR
<b>Nombre del indicador:</b> Variación en el número de individuos de especies de fauna endémicas, raras o en peligro de extinción (Indicador directo, su aplicación depende de la realización de inventarios faunísticos)
<b>Definición:</b> Dada la importancia de las especies endémicas, raras y en peligro de extinción, se establece este indicador con el ánimo de mantener monitoreado el tamaño de la población.
<b>Fórmula del indicador:</b> $\Delta N_{ind} = [N_{ind}]_t - [N_{ind}]_{t-1}$
<b>Donde:</b> <i><math>\Delta N_{ind}</math></i> Variación en el número de individuos <i><math>N_{ind}</math></i> Número de individuos t Tiempo de medición t-1 Tiempo anterior de medición
<b>Unidad de medida del indicador:</b> Número de individuos
<b>Rango del Indicador:</b> <b>Bueno:</b> Cuando aumenta el número de individuos <b>Regular:</b> Cuando se mantiene el número de individuos <b>Malo:</b> Cuando disminuye el número de individuos
<b>9. Observaciones:</b>

## HOJA DESCRIPTIVA DE INDICADOR

**Nombre del indicador:** Variación en el número de individuos de especies de flora endémicas, raras o en peligro de extinción. (Indicador directo, su aplicación depende de la realización de inventarios florísticos)

**Definición:** Dada la importancia de las especies endémicas, raras y en peligro de extinción, se establece este indicador con el ánimo de mantener monitoreado el tamaño de la población.

**Fórmula del indicador:**

$$\Delta N_{ind} = [N_{ind}]_t - [N_{ind}]_{t-1}$$

**Donde:**

$\Delta N_{ind}$  Variación en el número de individuos

$N_{ind}$  Número de individuos

t Tiempo de medición

t-1 Tiempo anterior de medición

**Unidad de medida del indicador:** Numero de individuos por especie

**Rango del Indicador:**

**Bueno:** Cuando aumenta el número de individuos

**Regular:** Cuando se mantiene el número de individuos

**Malo:** Cuando disminuye el número de individuos

**Observaciones:**

## HOJA DESCRIPTIVA DE INDICADOR

**Nombre del indicador:** Variación en la extensión por tipo de cobertura

**Definición:** El indicador detecta los cambios espacio-temporales ocurridos para cada tipo de cobertura.

**Fórmula del indicador:**

$$\Delta AC = \left[ \sum_{p=1}^j AC_i \right]_t - \left[ \sum_{p=1}^j AC_i \right]_{t-1}$$

**Donde:**

$\Delta AC$  : Variación en la extensión por tipo de cobertura

$$\sum_{p=1}^j AC_i$$

: Sumatoria de la extensión en Hectáreas de todos los parches de la cobertura i

t : Tiempo de medición

t-1: Medición anterior

**Unidad de medida del indicador:** Hectáreas

**Rango del Indicador:** El indicador debe tomar valores positivos si hay aumento de la cobertura o valores negativos si se observa disminución en la cobertura, evidenciándose los cambios dentro del periodo de tiempo analizado. La evaluación del indicador tendrá en cuenta el siguiente criterio:

**Para coberturas de tipo natural:**

**Bueno:** Aumento de la cobertura

**Regular:** Mantenimiento de la cobertura

**Malo:** Disminución de la cobertura

**Para coberturas de tipo antrópico:**

**Bueno:** Disminución de la cobertura

**Regular:** Mantenimiento de la cobertura

**Malo:** Aumento de la cobertura

**Observaciones:**

## HOJA DESCRIPTIVA DE INDICADOR

**Nombre del indicador:** Variación en la extensión relativa por tipo de cobertura

**Definición:** El indicador detecta los cambios temporales en la importancia de cada tipo de cobertura en relación al área total.

**Fórmula del indicador:**

$$\Delta ACr = \left[ \frac{\sum_{p=1}^j AC_i}{A} (100) \right]_t - \left[ \frac{\sum_{p=1}^j AC_i}{A} (100) \right]_{t-1}$$

**Donde:**

$\Delta ACr$  : Variación en la extensión relativa por tipo de cobertura

$\sum_{p=1}^j AC_i$  : Sumatoria de la extensión en Hectáreas de todos los parches de la cobertura i

A: Área total en Hectáreas.

t : Tiempo de medición

t-1: Medición anterior

**Unidad de medida del indicador:** %

**Rango del Indicador:** El indicador debe tomar valores positivos si hay aumento de la extensión relativa de la cobertura o valores negativos si se observa decremento de la extensión relativa de la cobertura, evidenciándose los cambios dentro del periodo de tiempo analizado. La evaluación del indicador tendrá en cuenta el siguiente criterio:

**Para coberturas de tipo natural:**

**Bueno:** Aumento de la cobertura relativa

**Regular:** Mantenimiento de la cobertura relativa

**Malo:** Disminución de la cobertura relativa

**Para coberturas de tipo antrópico:**

**Bueno:** Disminución de la cobertura relativa

**Regular:** Mantenimiento de la cobertura relativa

**Malo:** Aumento de la cobertura relativa

**Observaciones:**

## HOJA DESCRIPTIVA DE INDICADOR

**Nombre del indicador:** Variación en la densidad de parches

**Definición:** El indicador detecta los cambios temporales ocurridos en relación con la densidad de parches para cada tipo de cobertura. La densidad de parches se multiplica 100 para convertirlo a 100 Hectáreas

**Fórmula del indicador:**

$$\Delta DP = \left[ \frac{n_j}{A}(100) \right]_t - \left[ \frac{n_j}{A}(100) \right]_{t-1}$$

**Donde:**

$\Delta DP$  : Variación en la densidad de parches

$n_j$  : Número de parches del tipo de cobertura i

A: Área total del paisaje en Hectáreas.

t : Tiempo de medición

t-1: Medición anterior

**Unidad de medida del indicador:** Número de parches en 100 Hectáreas.

**Rango del Indicador:** DP es mayor que cero sin límites. No obstante la variación en la densidad de parches puede tomar valores negativos si se observa una disminución de la densidad de parches; valores positivos cuando aumenta la densidad de los parches y cero cuando se mantiene. La evaluación del indicador tendrá en cuenta el siguiente criterio:

**Para tipos de cobertura natural:**

**Bueno:** Cuando la variación en la densidad de parches tiene valores negativos

**Regular:** Cuando la variación en la densidad de parches tiene el valor de cero

**Malo:** Cuando la variación en la densidad de parches tiene valores positivos

**Para tipos de cobertura antrópica:**

**Bueno:** Cuando la variación en la densidad de parches tiene valores positivos

**Regular:** Cuando la variación en la densidad de parches tiene el valor de cero

**Malo:** Cuando la variación en la densidad de parches tiene valores negativos

**Observaciones:** Expresión del indicador según:

MCGARIGAL, K y B, MARKS. 1995

ELKIE, P. ; REMPEL, R y A, CARR. 1999

## HOJA DESCRIPTIVA DE INDICADOR

**Nombre del indicador:** Variación en el tamaño medio de los parches

**Definición:** El indicador detecta los cambios temporales ocurridos en relación con la extensión media de los parches para cada tipo de cobertura. La extensión media de los parches corresponde a la suma de las áreas de todos los parches de un tipo de cobertura dividido por el número de parches del mismo tipo de cobertura.

**Fórmula del indicador:**

$$\Delta \bar{P} = \left[ \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_j} \right]_t - \left[ \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_j} \right]_{t-1}$$

**Donde:**

$\Delta \bar{P}$  : Variación en el tamaño medio de los parches

$\sum_{j=1}^n a_{ij}$  Sumatoria en Hectáreas del área de todos los parches j de la cobertura i

$n_j$ : Número total de parches en el paisaje de la cobertura i

t : Tiempo de medición

t-1: Medición anterior

**Unidad de medida del indicador:** hectáreas

**Rango del Indicador:** El valor de tamaño medio de los parches es positivo sin límite. El valor de la variación del tamaño medio de los parches para cada tipo de cobertura tiene valores positivos si el tamaño medio de los parches en el tiempo t es mayor que el tamaño medio de los parches en el tiempo t-1; el valor de la variación es cero si el tamaño medio de los parches no cambia dentro del periodo de tiempo considerado y presenta valores negativos si el tamaño medio de los parches en el tiempo t es menor que el tamaño medio de los parches en el tiempo t-1. La evaluación del indicador tendrá en cuenta el siguiente criterio:

**Para coberturas naturales:**

**Bueno:** Cuando la variación en el tamaño medio de los parches tiene valores positivos

**Regular:** Cuando la variación en el tamaño medio de los parches tiene el valor de cero o se aproxima a éste

**Malo:** Cuando la variación en el tamaño medio de los parches tiene valores negativos

**Para tipos de cobertura antrópica:**

**Bueno:** Cuando la variación en el tamaño medio de los parches tiene valores negativos

**Regular:** Cuando la variación en el tamaño medio de los parches tiene el valor de cero o se aproxima a éste

**Malo:** Cuando la variación en el tamaño medio de los parches tiene valores positivos

**Observaciones:** Expresión del indicador según:

MCGARIGAL, K y B, MARKS. 1995

ELKIE, P. ; REMPEL, R y A, CARR. 1999

## HOJA DESCRIPTIVA DE INDICADOR

**Nombre del indicador:** Variación en el índice de proximidad de parches

**Definición:** El indicador detecta los cambios temporales ocurridos en relación con la estimación de la distancia entre un parche de una determinada cobertura y el parche más cercano de la misma cobertura, siendo esta distancia una manera de cuantificar el grado de aislamiento y fragmentación de los parches de una cobertura determinada.

**Fórmula del indicador:**

$$\Delta PROX = \left[ \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs}}{h_{ijs}^2} \right]_t - \left[ \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs}}{h_{ijs}^2} \right]_{t-1}$$

**Donde:**

$\Delta PROX$  : Variación en el índice de proximidad de parches

$a_{ijs}$  : Área en metros cuadrados del parche para el cual se ubica el vecino más cercano

$h_{ijs}^2$  : Distancia en metros medida desde el núcleo del parche hasta el núcleo del parche más cercano

$\sum_{s=1}^n$  : Sumatoria de la secuencia de mediciones para un mismo tipo de cobertura

t : Tiempo de medición

t-1: Medición anterior

**Unidad de medida del indicador:** Unidades

**7. Rango del Indicador:** El valor del índice de proximidad es positivo sin límite. El valor de la variación del índice de proximidad de parches para cada tipo de cobertura tiene valores positivos si en el tiempo t los parches están más cerca uno del otro que en el tiempo t-1; tiene valores negativos si en el tiempo t los parches están más alejados uno de otro que en el tiempo t-1 y el valor se acerca a cero si en dentro del rango de tiempo considerado la distancia entre parches se ha mantenido aproximadamente constante. El indicador puede aplicarse sólo si en los tiempos t y t-1 se utiliza el mismo valor de radio de búsqueda y la misma escala cartográfica de análisis. La evaluación del indicador tendrá en cuenta el siguiente criterio:

**Para coberturas naturales:**

**Bueno:** Cuando la variación en el índice de proximidad de los parches tiene valores positivos

**Regular:** Cuando la variación en el índice de proximidad de los parches tiene el valor de cero o se aproxima a éste

**Malo:** Cuando la variación en el índice de proximidad de los parches tiene valores negativos

**Para tipos de cobertura antrópica:**

**Bueno:** Cuando la variación en el índice de proximidad de los parches tiene valores negativos

**Regular:** Cuando la variación en el índice de proximidad de los parches tiene el valor de cero o se aproxima a éste

**Malo:** Cuando la variación en el índice de proximidad de los parches tiene valores positivos

**Observaciones:** Expresión del indicador según:

MCGARIGAL, K y B, MARKS. 1995

ELKIE, P. ; REMPEL, R y A, CARR. 1999

HOJA DESCRIPTIVA DE INDICADOR
<b>Nombre del indicador:</b> Variación en la dominancia de parches
<b>Definición:</b> El indicador detecta los cambios temporales ocurridos en relación con la importancia relativa, por número de parches de un tipo de cobertura, respecto al número total de parches que se observan en el paisaje
<b>Fórmula del indicador:</b>
$\Delta DOM = \left[ \frac{n_{ij}}{n_j} (100) \right]_t - \left[ \frac{n_{ij}}{n_j} (100) \right]_{t-1}$
<b>Donde:</b>
$\Delta DOM$ Variación en la dominancia de parches
$n_{ij}$ Número de parches de la cobertura i
$n_j$ Número total de parches en el paisaje
t : Tiempo de medición
t-1: Medición anterior
<b>Unidad de medida del indicador:</b> %
<b>Rango del Indicador:</b> El valor de dominancia de parches está entre 0 y 100. Se aproxima a cero cuando el número de parches de un tipo de cobertura es muy bajo respecto al número total de parches del paisaje y tiende a 100 cuando el número de parches de un tipo de cobertura es muy alto respecto al número total de parches del paisaje. La variación en la dominancia de parches tiene valores positivos si en el tiempo t el número relativo de parches es mayor que el registrado en el tiempo t-1; presenta valores negativos si en el tiempo t el número relativo de parches es menor que el registrado en el tiempo t-1 y tiende a cero cuando no se observan variación de la dominancia relativa en el periodo de tiempo considerado. La evaluación del indicador tendrá en cuenta el siguiente criterio:
Para coberturas naturales cuando la extensión por tipo de cobertura se mantiene constante o aumenta dentro del periodo de tiempo considerado :
<b>Bueno:</b> Cuando la variación en la dominancia de parches tiene valores negativos (la fragmentación disminuye)
<b>Regular:</b> Cuando la variación en la dominancia de parches tiene el valor de cero o se aproxima a éste
<b>Malo:</b> Cuando la variación la dominancia de parches tiene valores positivos (la fragmentación aumenta)
Para tipos de cobertura antrópica cuando la extensión por tipo de cobertura se mantiene constante o aumenta dentro del periodo de tiempo considerado ::
<b>Bueno:</b> Cuando la variación la dominancia de parches tiene valores positivos (la fragmentación aumenta)
<b>Regular:</b> Cuando la variación en la dominancia de parches tiene el valor de cero o se aproxima a éste
<b>Malo:</b> Cuando la variación en la dominancia de parches tiene valores negativos (la fragmentación disminuye)
Para coberturas naturales cuando la extensión por tipo de cobertura disminuye dentro del periodo de tiempo considerado :
<b>Regular:</b> Cuando la variación en la dominancia de parches tiene valores positivos (se disminuye el tamaño de los parches y aumenta la fragmentación), ó, Cuando la variación en la dominancia de parches tiene el valor de cero o se aproxima a éste (se mantiene el número de parches pero su tamaño disminuye)
<b>Malo:</b> Cuando la variación la dominancia de parches tiene valores negativos (se observa pérdida de parches)
Para tipos de cobertura antrópica cuando la extensión por tipo de cobertura disminuye dentro del periodo de tiempo considerado :
<b>Bueno:</b> Cuando la variación la dominancia de parches tiene valores negativos (se observa pérdida de parches)
<b>Regular:</b> Cuando la variación en la dominancia de parches tiene valores positivos (se disminuye el tamaño de los

parches y aumenta la fragmentación)

**Malo:** Cuando la variación en la dominancia de parches tiene el valor de cero o se aproxima a éste (se mantiene el número de parches pero su tamaño disminuye)

## HOJA DESCRIPTIVA DE INDICADOR

**Nombre del indicador:** Variación de la dimensión fractal

**Definición:** La dimensión fractal estima la complejidad de la forma de los parches, siendo más estables aquellos de formas más regulares y menos rugosas. El verificar busca determinar para cada parche, la variación de la forma de éstos en el tiempo, basado en la relación área – perímetro. La forma de los fragmentos evaluada mediante la dimensión fractal refleja la proporción de bordes en el paisaje y además indica los procesos de formación de nuevos fragmentos a partir de parches existentes y la resistencia de los parches a la fragmentación

**Fórmula del indicador:**

$$\Delta DF = \left[ \frac{\sum_{j=1}^n \left( \frac{2 \ln p_{ij}}{\ln a_{ij}} \right)}{n_i} \right]_t - \left[ \frac{\sum_{j=1}^n \left( \frac{2 \ln p_{ij}}{\ln a_{ij}} \right)}{n_i} \right]_{t-1}$$

**Donde:**

$\Delta DF$  Variación de la dimensión fractal

$a_{ij}$  Área en metros cuadrados del parche j de la cobertura i

$p_{ij}$  Perímetro en metros del parche j de la cobertura i

$\sum_{j=1}^n$  Sumatoria de la relación área-perímetro de todos los parches de la cobertura i

$n_i$  Número de parches j de la cobertura i

t : Tiempo de medición

t-1: Medición anterior

**Unidad de medida del indicador:** Unidad

**Rango del Indicador:** El valor de la dimensión fractal está entre 1 y 2. Se aproxima a 1 para los parches con formas sencillas (cuadrados o círculos) y a 2 para los parches con formas complejas y límites rugosos. La variación en la dimensión fractal tiene valores positivos si en el tiempo t es mayor la complejidad de forma de los parches respecto a la registrada en el tiempo t-1; presenta valores negativos si en el tiempo t es menor la complejidad de forma de los parches respecto a la registrada en el tiempo t-1 y tiende a cero cuando no se observan variación en la complejidad de los parches dentro del periodo de tiempo considerado.

La evaluación del indicador tendrá en cuenta el siguiente criterio:

**Para coberturas naturales:**

**Bueno:** Cuando la variación en la dimensión fractal de los parches tiene valores negativos (los parches son más compactos y tienen menor probabilidad de fragmentarse)

**Regular:** Cuando la variación en la dimensión fractal de los parches tiende a cero (no hay cambios aparentes en la complejidad de la forma)

**Malo:** Cuando la variación en la dimensión fractal de los parches tiene valores positivos (los parches son menos compactos, mayor efecto de borde y tienen mayor probabilidad de fragmentarse).

**Para coberturas antrópicas:**

**Bueno:** Cuando la variación en la dimensión fractal de los parches tiene valores positivos (los parches son menos compactos, mayor efecto de borde y tienen mayor probabilidad de fragmentarse).

**Regular:** Cuando la variación en la dimensión fractal de los parches tiende a cero (no hay cambios aparentes en la complejidad de la forma)

**Malo:** Cuando la variación en la dimensión fractal de los parches tiene valores negativos (los parches son más compactos y tienen menor probabilidad de fragmentarse)

**Observaciones:** Expresión del indicador según:

MCGARIGAL, K y B, MARKS. 1995

ELKIE, P. ; REMPEL, R y A, CARR. 1999

**HOJA DESCRIPTIVA DE INDICADOR****Nombre del indicador:** Variación espacio-temporal de la abundancia y diversidad de organismos**Definición:** El indicador mide la abundancia y diversidad de organismos y su relación con la oferta de habitat en espacio y tiempo.**Fórmula del indicador:**

$$\Delta H' = \left[ - \sum_{i=1}^s \frac{N_i}{N} \text{Log} \frac{N_i}{N} \right]_t - \left[ - \sum_{i=1}^s \frac{N_i}{N} \text{Log} \frac{N_i}{N} \right]_{t-1}$$

**Donde:** $\Delta H$  = Variación en la diversidad de Shannon - Wiener

Ni = Numero de individuos de la especie i

N = Numero total de individuos

t = Tiempo de medición

t-1 = Tiempo de medición inicial

**6. Unidad de medida del indicador:** bits**7. Rango del Indicador:** El rango obedece a las características de las comunidades de los sistemas particulares del área de estudio. Los siguientes rangos pueden servir de punto de referencia:

Estación (diversidad alfa)	Región (Diversidad beta)	Característica
<1	<2,1	Muy baja diversidad
>1 – 1,8	>2,1 – 2,6	Baja diversidad
>1,8 – 2,1	>2,6 – 3	Diversidad media
>2,1 – 2,3	>3 – 3,3	Alta diversidad
>2,3	>3,3	Muy alta diversidad

Tendencia de los valores de  $\Delta H$ **Bueno:** la diferencia es igual a cero o mayor**Regular:** La diferencia es negativa y menor que una unidad**Malo:** La diferencia es negativa y mayor que la unidad.**Observaciones:** La medición de abundancia y diversidad de organismos béticos, debe hacerse paralela a las de calidad fisicoquímica del agua y de caudales. Para efectos comparativos en el tiempo, deben realizarse en la misma época climática, abarcando las de máxima y mínima precipitación y las de transición.