

# Fragmentación y deforestación como indicadores del estado de los ecosistemas en el Corredor de Conservación Choco-Manabí (Colombia-Ecuador)

Mauricio A. Echeverry D<sup>1</sup>;  
Grady J. Harper<sup>2</sup>

Las áreas de bosque en el CCCM representan aproximadamente el 50% del área total del corredor; sin embargo, los procesos de transformación y deforestación aumentan la fragmentación de los ecosistemas, lo que afecta su funcionalidad y la provisión de bienes y servicios ambientales para las poblaciones asentadas en el corredor. Aunque prevalecen grandes extensiones de bosque -especialmente en la parte norte del corredor- se evidencian el aumento gradual en la fragmentación de las áreas de bosque y el consiguiente aumento de las áreas transformadas.

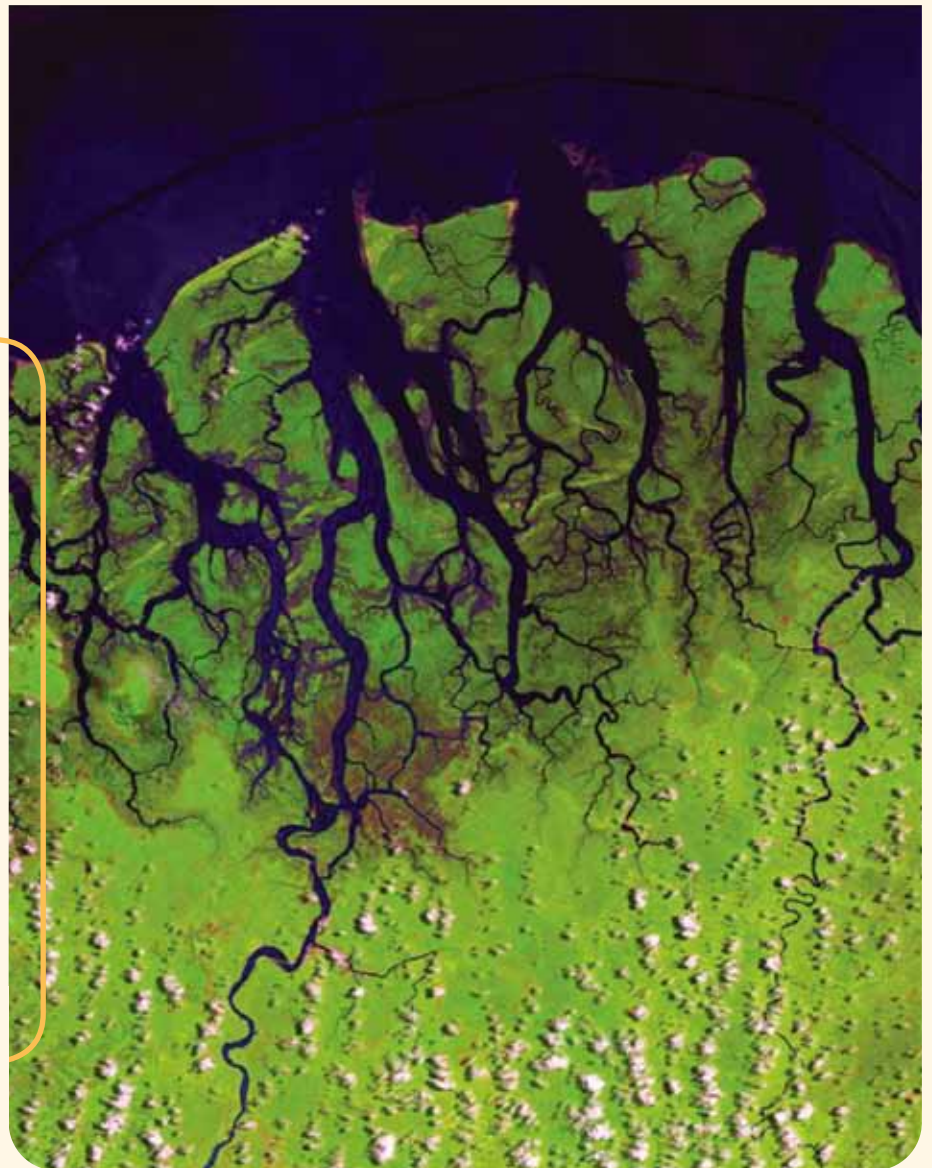


Imagen Landsat del Parque Nacional Natural Sanquianga. Departamento de Nariño, Colombia. Fuente: Mauricio Echeverry.

<sup>1</sup> Coordinador Unidad SIG CIEBREG, Investigador Grupo de Agroecosistemas Tropicales Andinos. Universidad Tecnológica de Pereira. mauroe@utp.edu.co

<sup>2</sup> Investigador. CABS (Center for Applied Biodiversity Science). Conservation International, Regional Analysis Department. gharper@conservation.org

## Resumen

En el Corredor de Conservación Chocó-Manabí (Colombia-Ecuador) se realizó un estudio de deforestación y fragmentación para obtener los datos necesarios que permitieran definir indicadores de estado para el sistema de monitoreo socioambiental del corredor. Asimismo, se buscó tener una aproximación válida del estado de los ecosistemas en el área de estudio. Mediante sensores remotos (imágenes Landsat TM y ETM) se generó información para el periodo 1989-2002, que permitiera analizar los cambios en la cobertura de bosque (deforestación) y definir métricas de fragmentación en el corredor y las áreas piloto a escala regional y local.

**Palabras claves:** Sistemas de información geográfica; imágenes de Landsat; fragmentación del bosque; deforestación; ecosistema; monitoreo; corredor biológico; Corredor de Conservación Choco-Manabí; Colombia; Ecuador.

## Summary

**Analysis of deforestation and fragmentation as ecosystem-state indicators in the Choco-Manabi Conservation Corridor (Colombia-Ecuador).** A deforestation and fragmentation study was carried out in the Choco-Manabi Conservation Corridor (Colombia-Ecuador) to obtain the data needed to define state indicators for the Corridor's environmental and social monitoring system. Also, the present conditions of ecosystems were assessed. Working with remote sensing (Landsat TM and ETM), information for the 1989-2002 span was generated in order to determine changes in forest cover (deforestation) and define fragmentation metrics for both the Corridor and selected pilot areas, at regional and local scale.

**Keywords:** geographic information systems; Landsat imagery; forest segmentation; deforestation; ecosystems, monitoring; biological corridor; Choco-Manabi Conservation Corridor; Colombia; Ecuador.

## Introducción

El Fondo de Alianzas Estratégicas para Ecosistemas Críticos (CEPF) definió el Corredor de Conservación Chocó-Manabí (CCCM) como un escenario ecológico y geográfico de planificación prioritario en vista de su riqueza biológica y diversidad cultural, por una parte, y la multiplicidad de factores que contribuyen a su deterioro o pérdida, por la otra ([www.chocomanabi.org](http://www.chocomanabi.org)). Como una iniciativa regional, el CCCM tiene el propósito de articular, de manera sostenible, la conservación de la biodiversidad con el desarrollo socioeconómico de las comunidades locales en una de las regiones biológicamente más ricas y amenazadas del mundo: el *hotspot*

Tumbes-Chocó-Magdalena, conocido anteriormente como Chocó-Darién-Ecuador Occidental (Fig. 1). El Corredor cubre una superficie aproximada de 192.000 km<sup>2</sup>, que representa cerca del 73% del *hotspot* Tumbes-Chocó-Magdalena, y comprende los bosques húmedos y muy húmedos de la región del Pacífico en Colombia y Esmeraldas en Ecuador, así como los bosques secos de la provincia de Manabí en Ecuador.

El sistema de monitoreo socioambiental del CCCM es uno de los proyectos de la iniciativa binacional; dicho proyecto se desarrolla en tres ventanas de implementación a nivel local, dos en Colombia y una en Ecuador (Fig. 2):



**Figura 1.** Ubicación del *hotspot* Tumbes-Chocó-Magdalena

Fuente: [http://www.biodiversityhotspots.org/xp/hotspots/tumbes\\_choco/Pages/default.aspx](http://www.biodiversityhotspots.org/xp/hotspots/tumbes_choco/Pages/default.aspx)

<sup>3</sup> CEPF es una alianza entre el Banco Mundial, el Fondo Ambiental Global (GEF), Conservación Internacional (CI), el gobierno de Japón y la fundación MacArthur para ayudar a financiar las estrategias de conservación de la biodiversidad en los *hotspots* más amenazados del mundo.

- Ventana Tatamá-Paraguas: departamentos de Risaralda, Chocó, Valle del Cauca
- Ventana Munchique-Pinche: departamento de Cauca
- Ventana Esmeraldas: provincia de Esmeraldas (Ecuador)

Los indicadores para el sistema de monitoreo socioambiental se seleccionaron, priorizaron y estandarizaron para los dos países; para cada uno se desarrolló una hoja metodológica en la que se definen las variables para el cálculo, el método de cálculo, la importancia del indicador, periodicidad... (Cuadro 1).

La información proveniente de sensores remotos y el análisis de los cambios en las coberturas vegetales permiten lograr una aproximación válida al estado de conservación de los ecosistemas en las áreas de interés. Puesto que las fuentes de información son accesibles y se disponía de

equipos técnicos y capacidad para generar datos, información e indicadores de estado de los ecosistemas, fue posible desarrollar metodologías válidas y replicables para el análisis espacial de la conservación de la estructura y funcionalidad de los ecosistemas en un área determinada.

La transformación del paisaje y los cambios en las coberturas vegetales en el tiempo cobran gran importancia pues, en poco más de una década, la fragmentación (el rompimiento de amplias extensiones de hábitat o áreas de tierra en pequeñas parcelas), se ha convertido en un problema ambiental de proporciones mundiales (Forman 1995). La fragmentación es provocada por disturbios que resultan en la reducción y aislamiento de áreas de hábitat natural a nivel de paisaje (Noss 1987, Schelhas y Greenberg 1996, ambos en Correa Do Carmo 2000). Según Volgemann

(1995), la fragmentación puede ser también considerada como el proceso de “cortar profundamente áreas grandes y contiguas de tipos similares de vegetación nativa en numerosos segmentos menores separados por tipos de vegetación relacionados con la actividad humana intensiva”.

La transformación y el cambio, ya sea natural o inducido por el hombre, es la norma en todos los procesos naturales y sociales. El equilibrio y lo estático es apenas una fase que nunca persiste indefinidamente (Forman 1995). El monitoreo de los cambios en las coberturas vegetales y el estado de conservación del CCCM a nivel de paisaje genera información valiosa para implementar estrategias tendientes al mejoramiento de los procesos sociales en una región con cerca de 192.000 km<sup>2</sup>, inserta en el Complejo Ecorregional Andes del Norte (CEAN).



Figura 2. Ventanas de estudio y áreas protegidas en el Corredor de Conservación Chocó-Manabí

El estado de fragmentación en el CCCM y el cambio en la cobertura natural en un período determinado brindan una aproximación para el estudio de la estructura, patrón y procesos ecológicos que hacen del CCCM una de las regiones más ricas en biodiversidad y que exige monitoreo y flujos de información efectivos y constantes entre los actores.

## Metodología

### El área de estudio

El estudio para determinar los cambios en la extensión del área de bosque (deforestación) y continuidad del mismo (fragmentación) se realizó para toda la extensión del corredor y para áreas piloto definidas a partir de criterios biológicos y geográficos, de ordenamiento territorial, de gestión y de amenazas para la biodiversidad (Fig. 2).

Como área piloto se seleccionó la ventana **Tatamá-Paraguas**, la cual tiene influencia en 14 municipios de tres departamentos del centro-occidente colombiano y cubre una extensión de 565.370 ha. Los límites de la ventana se definieron a partir de la información geográfica existente para el corredor, generada por Conservación Internacional (CI). La delimitación del área de estudio responde fielmente a los criterios establecidos, y abarca áreas protegidas como la Serranía de los Paraguas y el Parque Nacional Natural Tatamá; además, forma parte de la ventana San Juan definida por CI como ventana prioritaria para complementar acciones tendientes a consolidar una estrategia de conservación a nivel de microcorredores de conservación y enmarcadas en el concepto de mosaicos de conservación. Las dos áreas mencionadas conforman el corredor Citará-Caramanta-Tatamá-Paraguas. También se identificó un número representativo de áreas de reservas de la sociedad civil y otras iniciativas de conservación (Fig. 2).

**Cuadro 1.** Indicadores seleccionados para la Ventana Tatamá-Paraguas

Indicador	Variabes para el cálculo
Cambios en la extensión de cobertura natural	Superficie total de las formaciones naturales de interés en el año base; superficie total de las formaciones naturales de interés en un año determinado.
Fragmentación de ecosistemas en áreas de interés	Número de parches o fragmentos; tamaño medio del parche o fragmento; índice de forma medio ponderado; distancia media al parche más cercano.

### Trabajo con imágenes satelitales

Con el propósito de garantizar la utilidad, validez de los procesos, monitoreo y uso futuro de la información, se describen a continuación brevemente los aspectos metodológicos del trabajo con imágenes satelitales, a partir de la metodología desarrollada por Steininger et ál. (2006).

1. Seleccionar y adquirir imágenes para dos fechas definidas.
2. Corregistrar imágenes y combinarlas en una imagen multitemporal de dos fechas (bandas 1-5 y 7 de cada fecha) (*Layer Stacking, Erdas Imagines 9.1*).
3. Clasificar imágenes en Erdas Imagine con metodología supervisada (MLC - *Maximum Likelihood Classifier*).
4. Filtrar clasificaciones para eliminar parches con superficie menor de 2 ha.
5. Combinar clasificaciones filtradas en un mosaico.
6. Producir mapa de fechas para el análisis de la tasa de deforestación con precisión temporal.
7. Analizar la cobertura de bosque y deforestación.
8. Producir imágenes de fragmentación (distancia de bosque de un borde con no bosque o agua y tamaño de parche de bosque).

9. Calcular métricas de fragmentación en la Ventana Tatamá-Paraguas.

10. Generar los mapas temáticos como resultado de los análisis.

### Imágenes usadas

Landsat (TM 4 y 5 para fecha cercana a 1990 y ETM para fecha cercana al 2000); bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7 (Cuadro 2). Las imágenes Landsat son probablemente la información de satélite más ampliamente usada para estudios de vegetación (Steininger et ál. 2006). Las imágenes se seleccionaron para minimizar nubes dentro de las áreas piloto y se delimitaron para la implementación del sistema de monitoreo. Las imágenes usadas como base para georreferencia fueron ortorrectificadas por el proyecto Geocover, disponibles de manera gratuita en el sitio de *Global Land Cover Facility* de la Universidad de Maryland (<http://glcf.umd.edu/index.shtml>).

Para el análisis de deforestación y fragmentación en el CCCM se combinaron imágenes de cada fecha para producir un archivo de 12 bandas por medio de *Layer Stacking en Erdas Imagine 9.1*. Las características de las bandas utilizadas para la interpretación y análisis de cambios

**Cuadro 2.** Características de las imágenes Landsat utilizadas

PathRow	Primera fecha (año,mes,día)	Segunda fecha (año,mes,día)	Base de georreferencia
009056	19870725	20011214	20000821
009057	19860924	20001109	20010418
010056	19860219	20020412	20000218
010057	19861102	20000921	20000218
010059	19860219	20010409	20000218
011059	19860314	20000819	20000108
011060	19870301	19980619	20010331

de uso se describen en el Cuadro 3. Para la primera fecha, la combinación de bandas para interpretar las coberturas debe ser 4, 5, 3 (Fig. 3A); para la segunda fecha, la combinación debe ser 10, 11, 9 (Fig. 3B) u 11, 5, 5 (Fig. 3C). En esta última, las áreas en rojo representan el cambio de bosque a no bosque entre la primera fecha y la segunda.

### Cálculo de métricas de fragmentación

Para el cálculo de las métricas de fragmentación en el corredor se utilizó el 'software' *Erdas Imagine 9.1*; para la ventana Tatamá-Paraguas los cálculos se hicieron con *Fragstats 3.3*. Las métricas siguientes se calcularon teniendo en cuenta las hojas metodológicas para los indicadores de cambio en las extensiones de cobertura natural y de fragmentación de ecosistemas generadas para el proyecto:

- Métricas a escala de corredor: tamaño de parche, distancia borde y área núcleo.
- Métricas a escala de ventana Tatamá Paraguas: ver indicadores en Cuadro 1.

### Proceso de cálculo de los indicadores

Los indicadores de fragmentación de los ecosistemas son indicadores de estado que ofrecen una visión de la composición y configuración de los ecosistemas a través de medidas de área, forma o borde de los frag-

mentos. Estos factores determinan la dinámica de los procesos ecológicos al interior de los ecosistemas y se convierten en una herramienta de análisis a tener en cuenta en la toma de decisiones políticas para el manejo de los recursos naturales. Si entendemos la fragmentación como la división de un hábitat originalmente continuo en relictos remanentes inmersos en una matriz transformada, los índices de fragmentación reflejan los patrones y tendencias espaciales de los ecosistemas. En consecuencia, se calcularon los siguientes indicadores de fragmentación:

- NP: número de fragmentos de un ecosistema
- TPF: tamaño medio de los fragmentos en hectáreas
- FF: índice de forma promedio
- DPF: distancia media al vecino más cercano en metros

### Número de fragmentos

El número de fragmentos de un tipo particular de parche es una medida simple de la subdivisión o fragmentación del mismo. Sin embargo, el número de parches de una clase puede ser importante para los procesos ecológicos, aunque con frecuencia tiene un limitado valor interpretativo dado que no contiene información acerca del área, distribución o densidad de los parches (MacGarigal y Marks 1995).

El número de fragmentos de una clase determinada -en este caso, bos-

que- se calcula sumando el número de fragmentos en que está dividido un ecosistema en un área de interés. El indicador es 1 cuando el ecosistema o la clase determinada en un tiempo determinado no está fragmentado, y aumenta a medida que el ecosistema se fragmenta (Instituto A. Von Humboldt 2003).

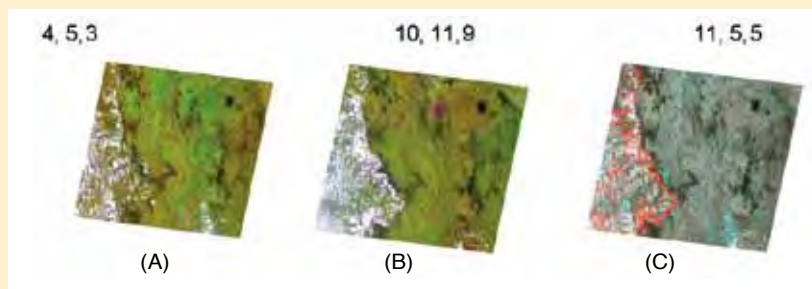
### Tamaño medio de los parches

Al área total de la clase 'bosque en el paisaje' es una medida de la composición del paisaje, específicamente cuanto corresponde a un tipo de cobertura o clase; esta es una característica con importantes implicaciones ecológicas (MacGarigal y Marks 1995). El tamaño medio de los fragmentos de un ecosistema se calcula sumando la superficie de todos los fragmentos de dicho ecosistema que se encuentran en un área de interés y dividiendo luego el resultado por el número de fragmentos.

### Forma de los parches

Las formas compactas son efectivas para proteger los recursos interiores contra los efectos deletéreos del ambiente exterior; por eso, los fragmentos más elongados son menos efectivos para la conservación de los recursos internos que los fragmentos redondeados. Esto es particularmente verdadero en la protección de especies de hábitat interior y especies intolerantes a la actividad humana (Forman 1995).

Cuando el valor del índice de forma es igual o cercano a 1 es porque los parches (polígonos) son circulares y compactos. Entre más lejos esté de 1, más convoluta o irregular es la forma. El índice de forma corresponde a la suma del perímetro de los parches dividido por la raíz cuadrada del área del parche (hectáreas) para cada clase determinada (nivel o escala de clase) o para todos los parches en conjunto (escala de paisaje) (MacGarigal y Marks 1995).



**Figura 3.** Combinaciones de bandas de imágenes Landsat para análisis de deforestación

### Distancia entre parches de bosque y conectividad

El valor de conservación de un determinado fragmento de bosque puede aumentar o disminuir de acuerdo al patrón de los otros elementos del paisaje a su alrededor (Noss 1987 en Correa Do Carmo 2000). El intercambio continuo de individuos (y genes) entre poblaciones fragmentadas y el mantenimiento de algunas especies en los fragmentos por el método de rescate dependen de las tasas de inmigración entre fragmentos (Simberloff y Cox 1987, Rosemberg et ál. 1997, Hill 1995, todos en Correa Do Carmo 2000). Las relaciones espaciales entre parches que restringen o facilitan el movimiento de los organismos en el paisaje determinan la persistencia regional de las poblaciones (Fahrig y Merina 1994 en Correa Do Carmo 2000).

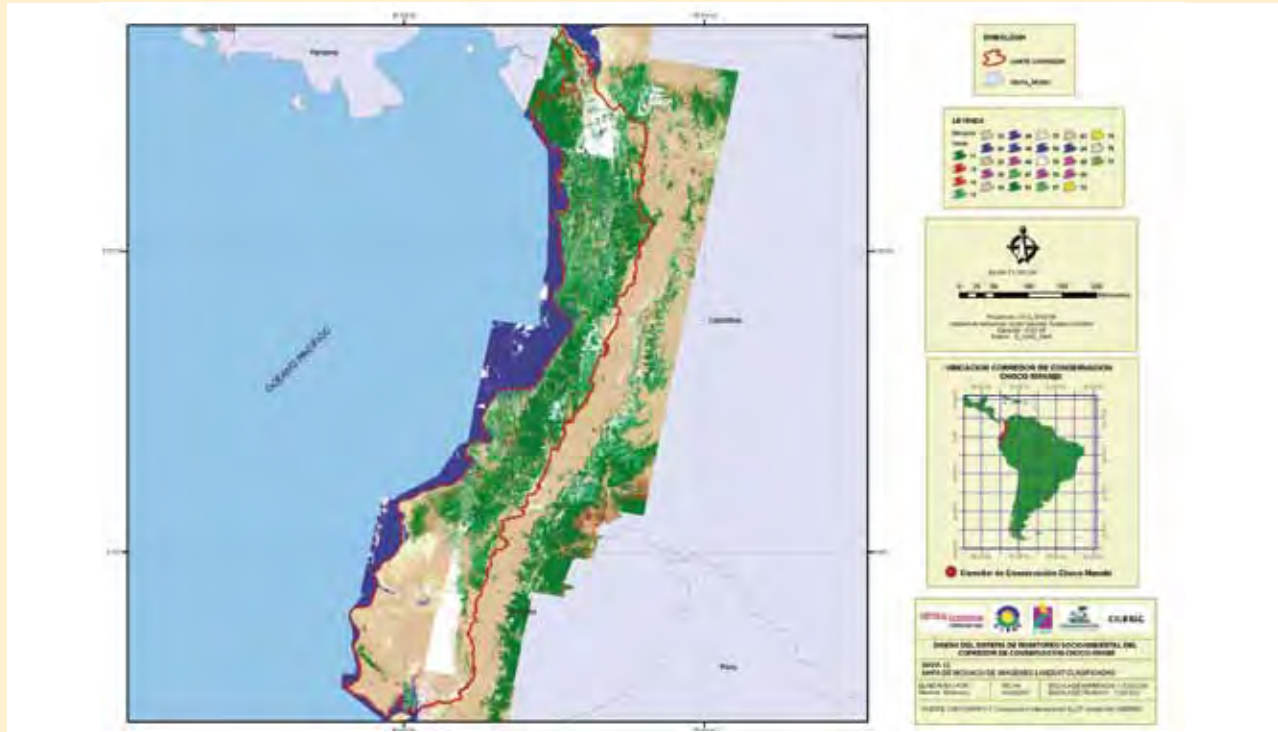
La distancia media al fragmento vecino más cercano se calcula sumando la distancia que separa un fragmento de un ecosistema de su vecino más cercano, dividiendo luego el resultado por el número de fragmentos. El indicador se aproxima a 0 cuando todos los fragmentos en que está dividido un ecosistema en un áreas de interés en un tiempo determinado están cercanos unos de otros y aumenta cuando dichos fragmentos se encuentran separados (Instituto A. von Humboldt 2003).

### Resultados y discusión

Como resultado del procesamiento y clasificación de las imágenes Landsat se generó una nueva cobertura vegetal para el corredor con las siguientes clases (Fig. 4): 1=bosque, 2=no bosque, 4=agua, 5=nube/sombra, 6=hielo/nieve, 7=manglares. La selección de áreas piloto (ventanas) para la implementación preliminar y validación de la información a través de los indicadores permitió obtener datos a escala regional y local que ayudan a determinar el estado

**Cuadro 3.** Características de las bandas de la imagen Landsat primera fecha

Canal	Rango de longitud de onda	Aplicación
4	0,76 – 0,90 (IR cercano)	Identificación de plantas/tipos de vegetación, estado de salud y contenido de biomasa; delineación de cuerpos de agua; contenido de humedad del suelo.
5	1,55 – 1,75 (IR medio)	Sensibilidad al contenido de humedad en suelo y vegetación; discriminación de nieve y áreas de cobertura nubosa.
3	0,63 – 0,63 (rojo)	Discriminación de especies de plantas vegetativas y no vegetativas (absorción de clorofila por la planta); identificación de rasgos culturales urbanos.



**Figura 4.** Mosaico de imágenes clasificadas para el análisis de deforestación y fragmentación. Corredor de Conservación Chocó-Manabí

de conservación del CCCM tanto a escala nacional como regional.

### Cambios en la cobertura boscosa en el CCCM

En el año 1990, la cobertura del bosque en el CCCM representaba el 52% del área total del corredor (98.938 km<sup>2</sup>); para el año 2000, tal cobertura había disminuido en 2,5%, con una deforestación pro-

medio anual de 250,5 km<sup>2</sup>. En ese momento, la cobertura era de 96.432 km<sup>2</sup> (50,7% del área total del corredor). Las áreas deforestadas aparecen en rojo en las Figuras 4 y 5.

A nivel de ventanas, la ventana binacional presentó la mayor disminución en el área de bosque: 26.129 km<sup>2</sup> en 1990 y 25.517 km<sup>2</sup> en 2000, lo que equivale a una tasa de deforestación anual de 61,1 km<sup>2</sup> (Cuadro 4).

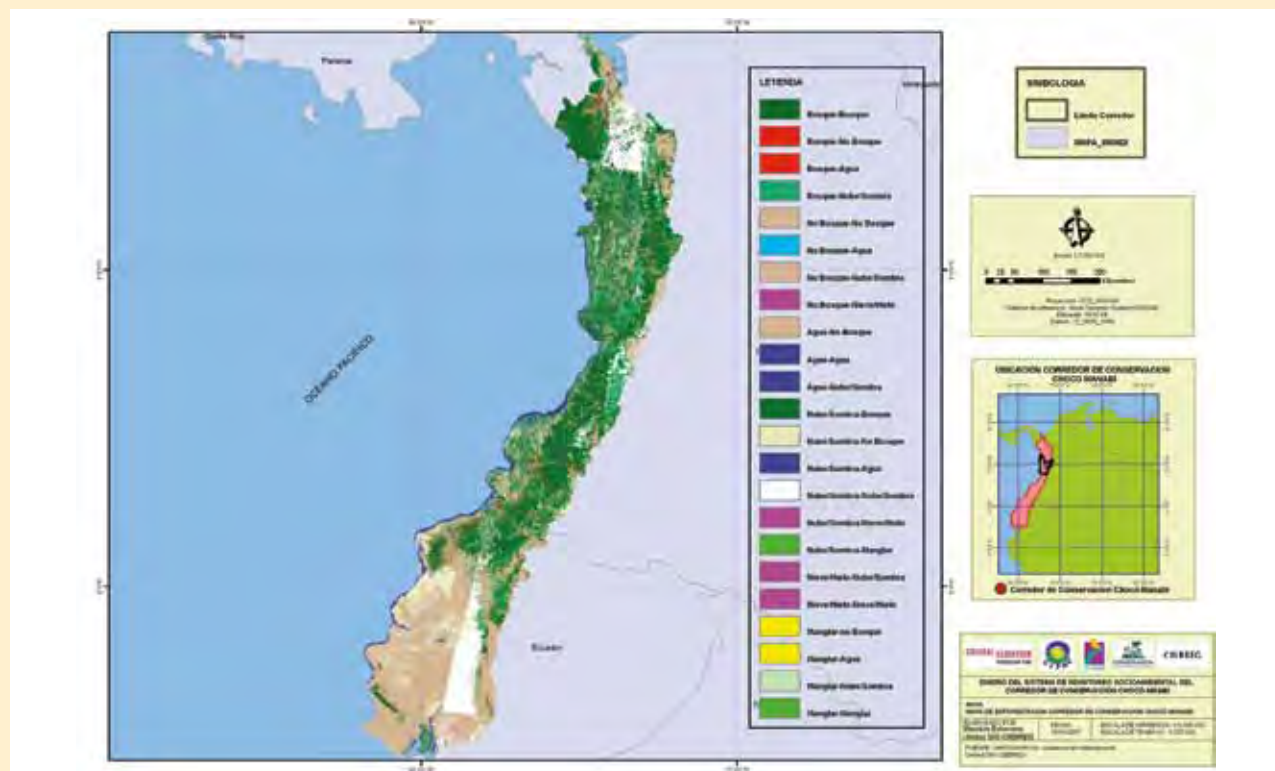
Por otro lado, la ventana San Juan presentó una de las más bajas disminuciones en cobertura boscosa (15,5 km<sup>2</sup>) comparada con la tendencia general del corredor, pero no por esto menos determinante.

### Índices de fragmentación en el CCCM

El uso común del término “métricas de paisaje” se refiere exclusivamente a los índices desarrollados para patrones categóricos del mapa. Las métricas de paisaje son algoritmos que cuantifican características espaciales específicas de parches, clases de parches o mosaicos de paisaje completos. Una gran cantidad de métricas para cuantificar patrones de paisaje han sido desarrolladas. Estas métricas se dividen en dos categorías generales: aquellas que cuantifican la *composición* sin referencia a atributos espaciales y aquellas que cuantifican la *configuración espacial* y que, por lo tanto, requie-

**Cuadro 4.** Estimación del cambio en la extensión de la cobertura boscosa en el Corredor de Conservación Chocó-Manabí

Ventana	Bosque 1990		Bosque 2000		Cambio de bosque total		Cambio de bosque promedio anual	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
Corredor Choco-Manabi	98.129	52,0	96.432	50,7	-2.505	-2,5	-250,5	-0,26
Binacional	26.129	69,2	25.517	67,6	-611	-2,3	-61,1	-0,24
Esmeraldas	6327	81,7	6.108	78,8	-219	-3,5	-21,9	-0,35
Mache Chindul	1648	34,4	1.503	31,4	-145	-8,8	-14,5	-0,92
Machalilla	208	5,9	196	5,6	-12	-5,6	-1,2	-0,57
Munchique-Pinche	1899	54,0	1.855	52,8	-44	-2,3	-4,4	-0,23
San Juan	19.839	81,1	19.684	80,5	-155	-0,8	-15,5	-0,08
Tatama 1	4.842	85,9	4.798	85,1	-44	-0,9	-4,4	-0,09



**Figura 5.** Deforestación en el Corredor de Conservación Chocó-Manabí

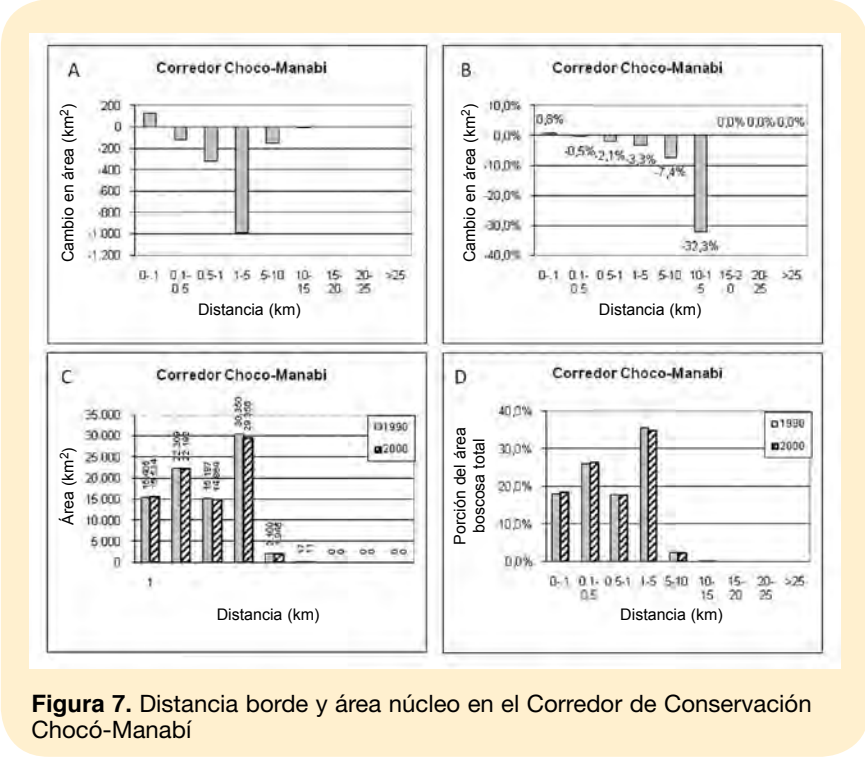
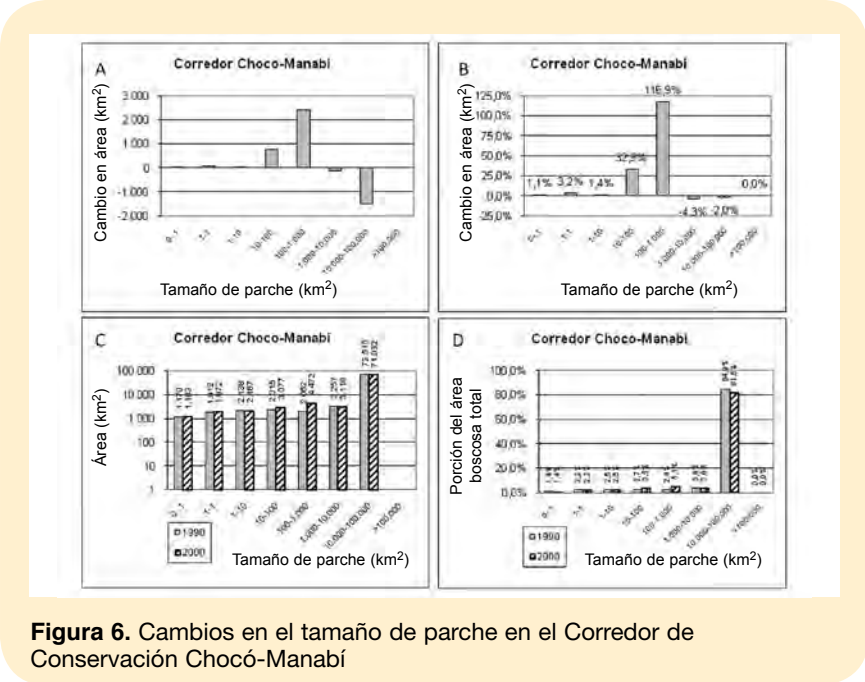
ren información espacial para su cálculo (McGarigal y Marks 1995, Gustafson 1998). Estas últimas son las que se utilizaron en este estudio.

**Tamaño de parche.-** El área de un parche que comprende el paisaje es, tal vez, la información más importante y útil del paisaje. No solo es la base para el cálculo de muchas de las métricas a nivel de parche, clase y paisaje, sino que tiene mucha utilidad ecológica (MacGarigal y Marks 1995). El área total de la clase 'bosque en el paisaje' es una medida de la composición del paisaje; específicamente cuánto del paisaje corresponde a un tipo de cobertura o clase; por ello, esta característica tiene importantes implicaciones ecológicas.

En la Fig. 6A se muestra el cambio en el área absoluta de bosque en las varias categorías de tamaño de parche, por todo el corredor Chocó-Manabí. La Fig. 6B muestra lo mismo, pero como porcentaje. La tendencia es hacia un decrecimiento de área de bosque en parches grandes y un aumento de área de bosque en parches pequeños. Sin embargo, la mayor parte de bosque en el corredor (>80%) sigue presentando tamaños de parches entre 10.000 km<sup>2</sup> y 100000 km<sup>2</sup>.

**Distancia borde.-** Las Figuras 7A y 7B muestran la pérdida de bosque núcleo o áreas de hábitat interior en los parches y el incremento de bosque más cerca de un borde entre la clase bosque y la clase no bosque/agua, en términos de área absoluta y porcentual. Las Figuras 7C y 7D muestran que hay una distribución uniforme del bosque en distancias entre 0 y 5 km de un borde, con muy poco bosque a una distancia mayor a 5 km desde el borde; casi el 20% del bosque se encuentra a menos de 0,1 km de un borde y 45% a menos de 0,5 km de un borde.

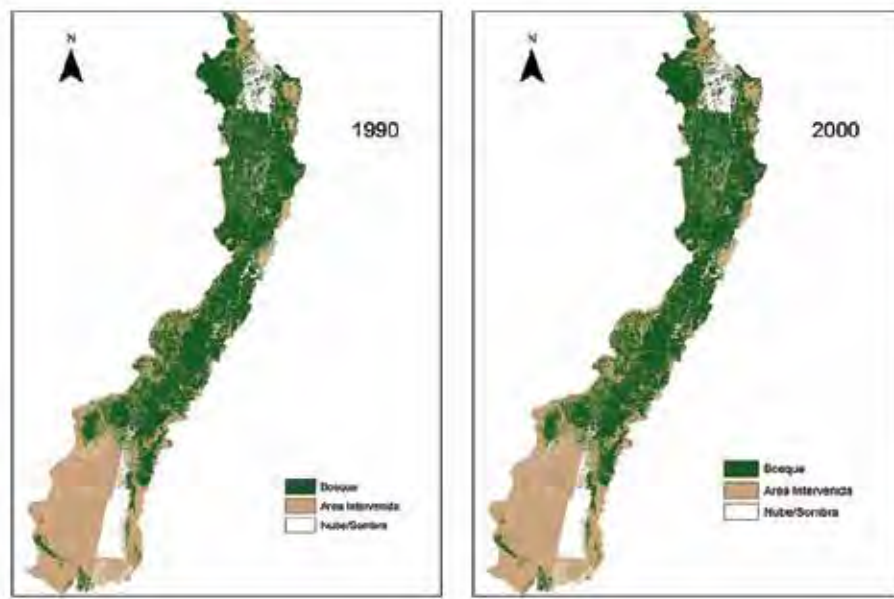
En la Fig. 8 se aprecian los cambios en la extensión de la cobertura boscosa y la fragmentación sufridos por el CCCM entre los años 1990 y 2000.



Cambios en la cobertura boscosa en la ventana Tatamá - Paraguas. Entre los años 1990 y 2000 se dio un cambio en la cobertura boscosa equivalente a 204,71 ha por año en la ventana Tatamá - Paraguas. El

área bajo bosque pasó de 443.206 ha en 1990 a 441.159 ha en el 2000 con una disminución de 2047 ha (parches rojos en la Fig. 9). Estos parches se concentran en la cuenca del río San Juan, inmediaciones





**Figura 8.** Cambios en la extensión de la cobertura boscosa y fragmentación en el CCCM entre los años 1990 y 2000

de los municipios de San José del Palmar y Condoto, departamento del Chocó y muy posiblemente son el resultado de la expansión de la frontera agropecuaria.

Índices de fragmentación en la ventana Tatamá-Paraguas

**Número de parches.-** En la ventana Tatamá-Paraguas, el número de parches de la clase bosque aumentó de 1064 a 1070, lo que evidencia la fragmentación de parches continuos: a mayor número de parches, mayor fragmentación en el paisaje. Esto se comprueba si se observa la clase ‘área intervenida’, que se va consolidando en áreas intervenidas conti-

nias con menos divisiones por parches de bosque. También existe un aumento en el número de parches de la clase páramo; si bien se trata de ecosistemas diferentes, estos pueden verse afectados por los fenómenos que generan la fragmentación de las áreas de bosque.

**Tamaño de parche.-** El tamaño medio de los parches de bosque presentó una pequeña disminución entre los dos años estudiados. En 1990, el tamaño medio era de 416,54 ha, pero en el 2000 se había reducido a 412,29 ha. Por otro lado, y en congruencia con la disminución de área de bosque hacia la clase ‘área intervenida’, el tamaño medio de parche

en esta clase aumentó de 19,27 ha a 19,86 ha (Cuadro 5).

**Índice de forma promedio.-** La forma se refiere a la figura de un área bidimensional, determinada por la variación de sus márgenes o bordes. La forma de los parches es importante para la ecología, especialmente porque afecta directamente los movimientos y flujos entre ecosistemas adyacentes (Forman 1995). El índice de forma promedio para las áreas de bosque en la ventana Tatamá-Paraguas tuvo un leve aumento en la serie de tiempo estudiada: 1,51 en 1990 y 1,52 en el 2000 -lo que indica formas circulares y compactas que empiezan a registrar afectación en los

**Cuadro 5.** Métricas de paisaje a nivel de clase

Ventana (n)	Año (a)	Cobertura (i)	Número de parches o fragmentos (NF)	Tamaño medio del parche o fragmento (TPF)	Índice de forma medio ponderado (FF)	Distancia media al parche más cercano (DPF)
Tatamá-Paraguas	2000	Área intervenida	3986	19,86	1,57	0,07
		Bosque	1070	412,29	1,52	0,05
		Páramo	58	17,84	1,82	
	1990	Área intervenida	3988	19,27	1,57	
		Bosque	1064	416,54	1,51	0,04
		Páramo	52	19,41	1,52	



Figura 9. Deforestación en la ventana Tatamá-Paraguas entre 1990 y 2000

bordes. Las formas con valor cercano a 1 son ideales para la protección de la biodiversidad contra el impacto de las actividades humanas sobre los flujos de genes y organismos en áreas de bosque. Aunque el valor es aún cercano a 1, el incremento es una señal de alarma acerca de una tendencia que podría caracterizar la dinámica de las áreas naturales del corredor (Cuadro 5).

Las áreas de páramos en la ventana sufren también los efectos de las intervenciones humanas en ecosistemas estratégicos. El índice de forma promedio para áreas en páramo evidencia un aumento de 1,52 a 1,82 en el periodo de tiempo estudiado.

**Distancia entre parches de bosque y conectividad.-** El valor de conservación de un determinado fragmento de bosque puede aumentar o disminuir de acuerdo al patrón de los otros elementos del paisaje a su alrededor (Noss 1987 en Correa Do Carmo 2000). Valores cercanos a

0 indican cercanía entre los parches de una clase determinada. Entre los parches de bosque se encontró una mayor cercanía entre fragmentos con un valor de 0,04 en 1990 y 0,07 en el año 2000. Este valor aumentó como consecuencia de la división de áreas continuas de bosque en un número mayor de fragmentos.

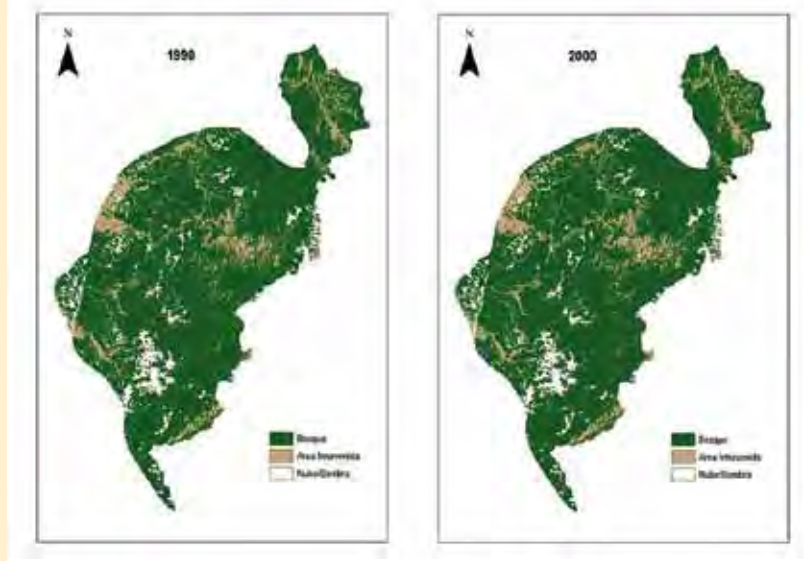
En la Fig. 10 se aprecian los cambios en la extensión de la cobertura boscosa y la fragmentación sufridos por la ventana Tatamá-Paraguas entre los años 1990 y 2000.

### Conclusiones

- El sistema de monitoreo socioambiental para el Corredor de Conservación Chocó-Manabí se perfila como la estructura idónea para el manejo apropiado de la información que generen los proyectos e iniciativas de gestión del territorio que allí se desarrollan. Asimismo, es un ejemplo de articulación y estandarización de pro-

cedimientos entre dos países para el estudio de fenómenos naturales que trascienden los límites político-administrativos.

- Los sistemas de información geográfica bien estructurados y funcionales permiten un manejo adecuado de la información proveniente de sensores remotos, lo que ayuda a consolidar metodologías prácticas, válidas y replicables para la gestión de información, datos e indicadores del sistema de monitoreo.
- Las áreas de bosque en el CCCM representan aproximadamente el 50% del área total del corredor; sin embargo, los procesos de transformación y deforestación aumentan la fragmentación de los ecosistemas, lo que afecta su funcionalidad y la provisión de bienes y servicios ambientales para las poblaciones asentadas en el corredor.
- Existe una diferencia notable en el estado de los ecosistemas del corre-



**Figura 10.** Cambios en la extensión de la cobertura boscosa y fragmentación en la ventana Tatamá-Paraguas entre los años 1990 y 2000

dor entre Colombia y Ecuador. La sección ecuatoriana alberga una mayor población –y por ende, más sistemas productivos; por ello, la transformación y deterioro de las áreas naturales es más notoria. En contraste, en la sección colombiana hay poco desarrollo socioeconómico, por lo que los recursos naturales se conservan mejor.

- La ventana binacional presentó la mayor deforestación en el periodo estudiado, pero las razones son diferentes en cada país. En Ecuador la deforestación tiene que ver con el desarrollo de empresas camaroneras y en Colombia con el establecimiento de cultivos ilícitos.
- Aunque prevalecen grandes extensiones de bosque -especialmente

en la parte norte del corredor- se evidencian el aumento gradual en la fragmentación de las áreas de bosque y el consiguiente aumento de las áreas transformadas. Tales factores afectan los procesos ecológicos en el *hotspot* Tumbes-Chocó-Magdalena.

- A escala regional, en la ventana Tatamá-Paraguas -una ventana con una extensión considerable de áreas protegidas- se da una deforestación localizada desde el centro hacia fuera en el curso del río San Juan.
- En la ventana Tatamá-Paraguas, en el periodo de estudio, aumentó el número de parches de bosque, pero disminuyó el tamaño medio de los mismos y aumentó la distancia entre parches. Tal comportamiento es lógico en un área con asentamientos humanos a lo largo de los cursos de ríos.
- El monitoreo constante (cada cinco años según la hoja metodológica del indicador) de la fragmentación a nivel de paisaje y de clase en el corredor y en las ventanas definidas es indispensable para entender la dinámica y estructura de los ecosistemas en el CCCM. 🌿

### Literatura citada

- Correa Do Carmo, AP. 2000. Evaluación y diseño de un paisaje fragmentado para la conservación de la biodiversidad. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p 7-28.
- Forman, RTT. 1995. Land mosaics- The ecology of landscapes and regions. Cambridge, Great Britain, Cambridge University Press. 632 p.
- Gustafson, EJ. 1998. Quantifying landscape spatial pattern: What is the state of the art? *Ecosystems* 1(1):143-156.
- Instituto Alexander Von Humboldt. 2003. Indicadores de fragmentación de los ecosistemas en áreas de interés. Bogotá, Colombia, Sistema de Indicadores de Seguimiento de la Política de Biodiversidad, Unidad de Sistemas de Información Geográfica.
- MacGarigal, K; Marks, BD. 1995. Fragstats: Spatial pattern analysis program for Quantifying landscape structure. Portland, US, Department of Agriculture, Forest Division. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351.
- Steininger, M; Epting, J; Harper, G. 2006. Forest cover mapping and change detection using moderate-resolution satellite imagery (Landsat, Aster and Modis). Washington, US, International Conservation. 4 p.
- Volgemann, JE. 1995. Assessment of forest fragmentation in southern New England using remote sensing and geographic information systems technology. *Conservation Biology* 9(2):439-449.