

# Fragmentación y conectividad del bosque en El Salvador Aplicación al Corredor Biológico Mesoamericano

Jacques IMBERNON<sup>1</sup>  
José Luis VILLACORTA MONZÓN<sup>2</sup>  
Carlos Luis ZELAYA FLORES<sup>2</sup>  
Alexander Alfredo VALLE AGUIRRE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CIRAD  
Campus international de Baillarguet  
TA 60/15  
34398 Montpellier Cedex 5  
Francia

<sup>2</sup> Universidad de El Salvador  
Facultad de Ciencias Agronómicas  
Final 25 Avenida Norte  
San Salvador  
El Salvador

**En El Salvador,** la fragmentación de los paisajes constituye una amenaza para la diversidad biológica al reducir la conectividad entre hábitats. Se constata que un 26% de los bosques están muy fragmentados y son, por tanto, vulnerables a las perturbaciones antropogénicas. Asimismo, el análisis de la conectividad entre bosques pone de manifiesto la importancia del cultivo de café a la sombra de bosques secundarios y permite identificar importantes conectores. Por último, se contemplan dos escenarios posibles: la desaparición del café de bajo y la regeneración de bosques de galería a lo largo de los cauces de los ríos.



Cafetos bajo cobertura forestal en la sierra Apaneca-Lamatepec (El Salvador).  
Foto Procafé.

## RÉSUMÉ

### FRAGMENTATION ET CONNEXION DES FORÊTS DU SALVADOR : CAS DU CORRIDOR BIOLOGIQUE MÉSOAMÉRICAIN

La fragmentation des paysages menace la diversité biologique en réduisant la connexion entre habitats. C'est pour préserver les flux écologiques entre les habitats d'Amérique centrale que le Corridor biologique mésoaméricain (Cbm) a été conçu. À partir de données récentes d'utilisation des terres du Salvador, une analyse spatiale de la fragmentation et de la connexion des couverts forestiers a été réalisée. Il apparaît que 26 % des forêts sont très fragmentées et vulnérables aux perturbations anthropiques. Ce sont les forêts-galeries et, dans les zones centrales et méridionales du pays, les forêts mixtes de conifères et de caducifoliés. L'analyse de la connexion entre forêts montre l'importance pour le Cbm de la culture du café sous l'ombrage de forêts secondaires. Celle-ci permet d'identifier des points de passage et de montrer le rôle connecteur des forêts-galeries et de certaines forêts de mangroves et de caducifoliés. Ces connecteurs sont, le plus souvent, de faible superficie et, donc, très vulnérables. Enfin, deux scénarios sont envisagés. La disparition du café de faible altitude entraînerait une perte de 26 % de la connexion du couvert forestier à l'échelle nationale et réduirait l'impact du Cbm. La régénération de forêts-galeries par la mise en place de corridors linéaires le long des cours d'eau permettrait de connecter deux unités de conservation : Barra de Santiago et El Imposible. Ces analyses de la fragmentation et de la connexion des forêts concourent à préserver le potentiel et la diversité biologiques.

**Mots-clés :** biodiversité, forêt, fragmentation, connexion, Corridor biologique mésoaméricain.

## ABSTRACT

### FRAGMENTATION AND CONNECTION IN SALVADOR'S FORESTS: CASE STUDY ON THE MESO- AMERICAN BIOLOGICAL CORRIDOR

By breaking up connections between habitats, the fragmentation of landscapes has become a threat to biodiversity. The Meso-American Biological Corridor (MBC) has been designed to protect ecological flows between habitats in Central America. A spatial analysis of fragmentation and connection in Salvador's forests was carried out on the basis of recent data on land use. This analysis shows that 26 % of the country's forests are highly fragmented and vulnerable to human disturbance. The areas concerned are gallery forests and mixed coniferous and deciduous forests in the central and southern parts of the country. Our analysis of connection between forests shows the importance for the MBC of coffee cultivation under shade in secondary forests, as it helps to identify points of passage and to demonstrate the connecting role of gallery forests and certain mangrove and deciduous forests. These connections are generally small in area and therefore highly vulnerable. Finally, we examine two scenarios. Firstly, if low-altitude coffee-growing disappears, this would result in the loss of 26 % of connecting forest areas at national level, the reducing the impact of the MBC. Secondly, regenerating gallery forests by establishing linear corridors along waterways would be a means of connecting the two conservation units of Barra de Santiago and El Imposible. These analyses of forest fragmentation and connection are being carried out as a means of helping to preserve the potential and diversity of biological resources.

**Keywords:** biodiversity, forest, fragmentation, connection, Meso-American Biological Corridor.

## RESUMEN

### FRAGMENTACIÓN Y CONECTIVIDAD DEL BOSQUE EN EL SALVADOR: APLICACIÓN AL CORREDOR BIOLÓGICO MESOAMERICANO

La fragmentación de los paisajes amenaza la diversidad biológica al reducir la conexión entre los hábitats. El Corridor Biológico Mesoamericano (CBM) fue creado para preservar los flujos ecológicos entre los hábitats de América Central. Se realizó un análisis espacial de fragmentación y conectividad de las cubiertas forestales basándose en datos recientes de uso de tierras de El Salvador. Se observa que el 26% de los bosques están muy fragmentados y son vulnerables a perturbaciones antrópicas. Se trata de bosques de galería y, en las zonas centrales y meridionales del país, bosques mixtos de coníferas y caducifolias. El análisis de la conectividad entre bosques pone de manifiesto la importancia del cultivo de café bajo sombra de bosques secundarios para el CBM. Se puede así identificar los puntos de paso y evidenciar la función conectiva de los bosques de galería y de algunos bosques de mangles y de caducifolias. Estos conectores suelen ocupar un área reducida siendo, por tanto, muy vulnerables. Por último, se consideran dos escenarios posibles: por un lado, la desaparición del café de bajío que entrañaría una pérdida del 26% de la conectividad de la cubierta forestal a escala nacional y reduciría el impacto del CBM; por otro, la regeneración de bosques de galería debido al establecimiento de corredores lineales a lo largo de los cauces de los ríos que permitiría conectar dos unidades de conservación: Barra de Santiago y El Imposible. Estos análisis de la fragmentación y la conectividad de los bosques contribuyen a preservar el potencial y la diversidad biológica.

**Palabras clave:** biodiversidad, fragmentación, conectividad, Corridor Biológico Mesoamericano.

La pérdida de hábitats y la fragmentación se consideran las principales amenazas que afectan a la diversidad biológica. Pueden interrumpir las dinámicas de poblaciones naturales y afectar a los organismos, subdividiendo las poblaciones, reduciendo la dispersión y causando la extinción de poblaciones (MECH, HALLET, 2001). Conservacionistas, planificadores y ecólogos se refieren a la pérdida de hábitats y al aislamiento de los hábitats con el término fragmentación (MÚGICA *et al.*, 2002). FORMAN (1995) define la fragmentación como un proceso dinámico por el cual un determinado hábitat va quedando reducido a fragmentos o islas de menor tamaño, más o menos conectadas entre sí en una matriz de hábitats diferentes al original.

A medida que aumenta la pérdida de superficie de los hábitats, disminuye la conectividad entre hábitats. La conectividad del paisaje en una red ecológica es un término general definido por la capacidad de mantener los flujos ecológicos y las conexiones entre los distintos espacios o elementos de la red. Esta conectividad depende tanto de los aspectos físicos o estructurales del paisaje como de las características del flujo ecológico y del propio tamaño, comportamiento y movilidad de los animales (TAYLOR *et al.*, 1993). HILL (1995) menciona que la conectividad de una red facilitaría la capacidad de respuesta de los paisajes y las especies ante incertidumbres políticas, económicas, o frente al cambio climático.

La conectividad está relacionada con la estructura espacial del paisaje y con la permeabilidad de los distintos componentes que lo forman, integra los conceptos de corredor y de barrera, e indica cómo responden los flujos ecológicos a la estructura del paisaje (Noss, 1993). Las áreas núcleo forman las fuentes de dispersión y el resto de los componentes del paisaje van a incrementar o disminuir los flujos por el paisaje. Según BENNET (1998), la conectividad entre dos áreas núcleo

dependerá principalmente de tres propiedades del paisaje: la permeabilidad del mosaico, la presencia de corredores y la presencia de puntos de paso o estriberones.

La función de los elementos del paisaje como corredores ecológicos empezó a estudiarse en profundidad a principios de los años 90 (SAUNDERS, HOBBS, 1991; SMITH, HELLMUND, 1993; LINDENMAYER, NIX, 1993). Pero la evidencia empírica de que los corredores proporcionen conectividad al paisaje ha suscitado cierta controversia (SIMBERLOFF *et al.*, 1992; BEIER, NOSS, 1998), en parte debido a la confusión existente entre las distintas acepciones del término de corredor según el punto de vista estructural, de funcionamiento o de gestión del paisaje, y a la especificidad del problema con cada especie.

Pero, además de estos estudios, se emprendieron iniciativas para implementar corredores biológicos. Uno de ellos, el Corredor Biológico Mesoamericano, fue formalmente avalado en julio de 1997 en el marco de la XIX Cumbre de Presidentes de Centroamérica. Por eso, y sin entrar en el debate sobre los efectos de los corredores, con este estudio tratamos de hacer un análisis espacial de la fragmentación y de la conectividad del bosque en El Salvador, con recientes datos del uso actual de las tierras. El propósito es establecer la conectividad espacial entre bosques y compararla a la propuesta de Corredor Biológico Mesoamericano, localizar e identificar los bosques más fragmentados y los puntos de paso de la conectividad, y evaluar el impacto de algunos escenarios de cambios en el paisaje sobre la conectividad.

## El Corredor Biológico Mesoamericano en El Salvador

La región Mesoamericana se inicia en el Darién en Panamá y se prolonga hasta la Selva Maya, en el sur de México, atravesando el territorio de 8 países (Figura 1). A lo largo de esta faja tan especial de tierras y paisajes, habitan más de 40 millones de personas y los expertos calculan que, para el año 2025, la población de esta región prácticamente se habrá duplicado. Esta misma región alberga cerca de 20 000 especies de flora de las 250 000 descritas a nivel mundial. De ahí la importancia de establecer un sistema funcional para la construcción de un Corredor Biológico Mesoamericano (CBM), como un marco planificado para la conservación de la diversidad biológica.

El Salvador está integrado en el estrecho istmo centroamericano y limita al oeste y noroeste con Guatemala y al norte y al este con Honduras. En el sur presenta un extenso litoral que se abre al océano Pacífico, y al sureste, el golfo de Fonseca separa El Salvador de Nicaragua. El Salvador tiene la particularidad de ser un territorio complejo en lo que respecta a la geología, el relieve y la hidrografía, por lo que su paisaje ofrece varios contrastes y alberga una gran diversidad de flora y fauna. Además, El Salvador presenta la particularidad de ser uno de los estados más densamente poblados de Centroamérica. La intensa transformación a la que se ha



El Valle Central y la sierra Apaneca-Lamatepec (El Salvador).  
Foto MARN.

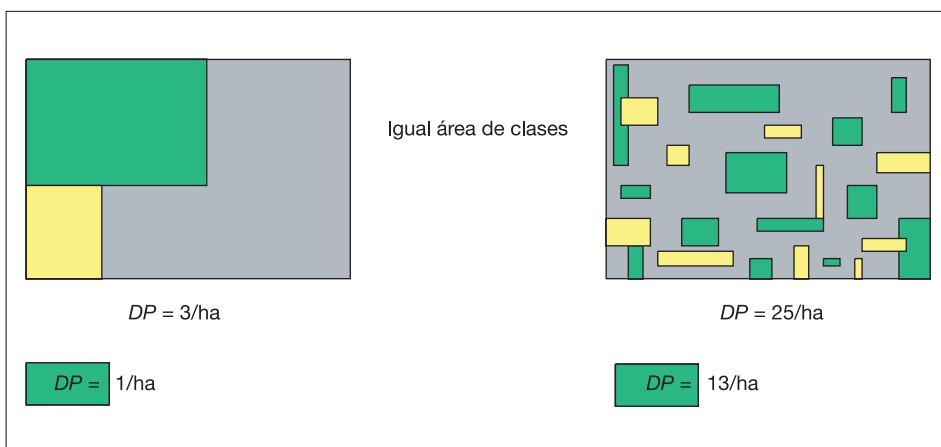


**Figura 1.**

El Corredor Biológico Mesoamericano. En naranja, los corredores biológicos; en verde, áreas protegidas. Fuente: Corredor Biológico Mesoamericano.

sometido el territorio a lo largo de la historia ha provocado que las superficies ocupadas por sistemas naturales (bosques) se hayan reducido ostensiblemente. En la actualidad, las superficies boscosas de mayor entidad han quedado relegadas a

aquellos puntos del territorio donde la especial orografía del mismo (zonas montañosas), o los altos niveles de encharcamiento del suelo (zona de mangles) han impedido, o al menos dificultado, su transformación en usos agrarios o urbanos.



**Figura 2.**

Índice de densidad de parches en 2 paisajes de áreas similares y con las mismas clases. DP = densidad de parches.

## Datos

Se utilizó el mapa de uso de suelos Corine Land Cover (CLC) a escala cartográfica 1:50 000. La dimensión mínima de mapeo es de 1 hectárea y el ancho máximo de polígonos es de 50 m. La nomenclatura es jerárquica, con cuatro niveles de jerarquía y 63 temas mapeados. Hay 14 temas de bosques. En este estudio hemos considerado solamente los ocho tipos de bosque más representativos: coníferas, mixtos caducifolios y coníferas, mangle, plantaciones monoespecíficas, bosques de galería, caducifolios, siempre verdes y mixtos semicaducifolios.

El mapa es georreferenciado, en proyección Cónica Conformal de Lambert. Los datos de forma digital en formato Shape fueron procesados con ArcView 3.3.

## Indicador de fragmentación

Se calcularon varios índices estructurales del paisaje con el software Fragstats que procesa el área, densidad, tamaño, variabilidad, borde, forma, área central o nuclear, distancia al vecino más cercano y diversidad. Estos índices pueden ser calculados en cada parche, en cada clase o en el área total. Debido al número y a la diversidad de los indicadores, elegimos la densidad de parches como indicador (IMBERNON, BRANTHOMME, 2001): es simple, entendible y representativo de la fragmentación del paisaje (Figura 2).

$$DP_i = \frac{NP_i}{A} (100)$$

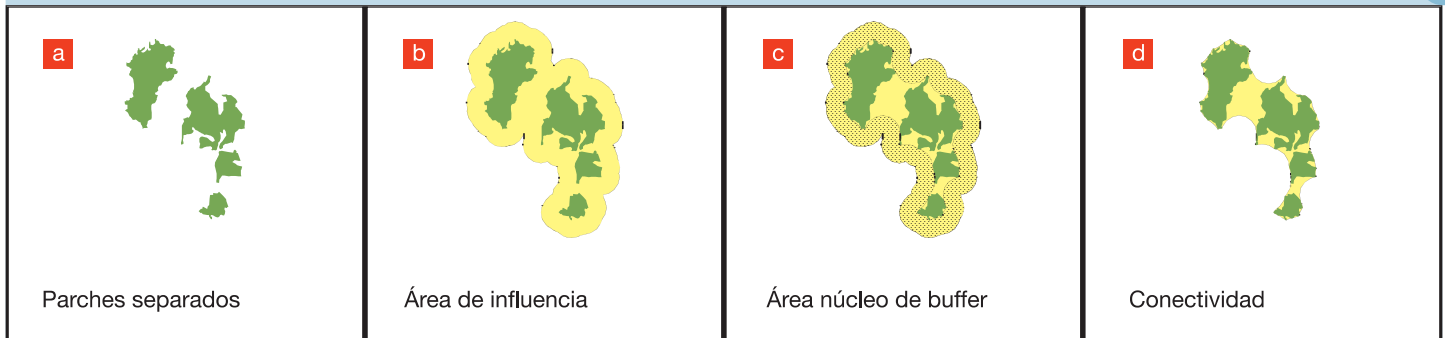
$DP_i$  = densidad de parches por 100 ha.

$NP_i$  = número de parches en el paisaje del tipo de parche de la clase.

$A$  = área total del paisaje en ha.

Para representar este índice de fragmentación, se establecieron límites de confianza (0,5%) de la distribución del índice de densidad de parches (DP):



**Figura 3.**

Modelo para establecer la conectividad espacial entre los parches de bosque.

$DP_{mín} =$  media mínima del índice de densidad = 0.004

$DP_{máx} =$  media máxima del índice de densidad = 0.072

y se plantearon las siguientes hipótesis:

Fragmentación baja:

$$DP \leq DP_{mín}$$

Fragmentación media:

$$DP_{mín} > DP < DP_{máx}$$

Fragmentación alta:

$$DP \geq DP_{máx}$$

## Análisis espacial de la conectividad

Para establecer la conectividad entre los parches de bosque y café (Figura 3a), se crearon buffers (áreas de influencia de los parches) con diferentes distancias de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 km (Figura 3b). Estas distancias no responden a una especie en particular y la funcionalidad de estas conectividades dependerá del tamaño y de los mecanismos de dispersión de las especies (especies animales, vegetales, insectos, etc.) inmersas en el paisaje. Seguidamente, se calcularon las áreas núcleo de los buffers para delimitar la conexión entre los parches a las distancias propuestas (Figura 3c), y, finalmente, obtuvimos los esquemas o mapas de conexión entre los parches, los cuales son denominados corredores (Figura 3d).

Las barreras identificadas fueron todos los terrenos artificializados: Tejidos Urbanos, Zonas Industriales y

demás construcciones que impiden la conexión, y los cultivos de caña de azúcar y de granos básicos por ser monocultivos (de poca diversidad) y por las prácticas agronómicas inadecuadas (quemadas, cultivos en laderas, exceso de agroquímicos, etc.) que la mayoría de agricultores realiza en estos cultivos.

Los puntos de paso, estribaderos o corredores discontinuos (*stepping stones*), son una serie de fragmentos de hábitat con poca distancia entre ellos, dispuestos de forma que las especies puedan realizar movimientos cortos entre estos fragmentos y desplazarse de este modo a través de la matriz del paisaje. Identificamos puntos de paso para la conectividad con 0.5 km de conexión y, debido a la cercanía entre éstos, lograron conectar áreas importantes.

Para apreciar los impactos negativos o positivos ocasionados por intervenciones humanas en el paisaje, se creó una degradación del cultivo de café y un escenario de mejoramiento de coberturas boscosas. Debido a la crisis económica que ha sufrido el sector cafetalero, se modelizó un escenario de eliminación de la cobertura de café que se encuentra en alturas inferiores a 800 metros. Seguidamente realizamos una cuantificación del área de conectividad que se pierde con respecto al área actual. Se elaboró también un escenario de mejoramiento de coberturas boscosas en un área específica: el área de conservación El Imposible-Barra de Santiago, donde se creó una nueva cobertura boscosa a lo largo de la red hídrica, con el objetivo de crear corredores lineales

## Resultados y discusiones

### Distribución del bosque

Según el mapa Corine Land Cover de bosque y café, la cobertura boscosa es de 396 706 ha (19% del área total) y el café 220 908 ha (10% del área total). También se calcularon las distribuciones estadísticas de los distintos usos de suelo en el territorio (Cuadro I).

### Fragmentación

La media mínima  $DP_{mín}$  y máxima  $DP_{máx}$  de densidad de parches con límites de confianza (·) del 5% es de 0.004 y 0.072. Así se establecieron los niveles de fragmentación (Cuadro II).

Las estadísticas indican que aproximadamente el 26% del área de bosque (81 346 ha) presenta un nivel de fragmentación alto; el 54% del área (más de la mitad de la totalidad del bosque) presenta fragmentación intermedia.

El mapa de niveles de fragmentación del bosque (Figura 4) indica, además, una gran dispersión geográfica del índice de fragmentación alto. Pero las zonas más afectadas y vulnerables son aquellas que tienen menos bosque: el centro y el sur del país.

En el cuadro III se indica la fragmentación de cada uno de los bosques.

La alta fragmentación de los bosques de galería (73%), mixtos de coníferas y caducifolios (41%) y siem-

**Cuadro I.**  
**Resumen de estadísticas por tipo de bosque en El Salvador.**

Tipo de bosque	Extensión (ha)	Total (%)	Del país (%)
Coníferas	73 997	19	3.5
Mixto	17 704	4	0.8
Mangle	39 027	10	1.9
Plantaciones	5 344	1	0.3
Galería	18 499	5	0.9
Caducifolio	108 065	27	5.1
Siempre verdes	23 960	6	1.1
Mixtos semicaducifolios	110 111	28	5.2
<b>Total bosque</b>	<b>396 706</b>	<b>100</b>	<b>18.8</b>
Café	220 908	-	10.5

**Cuadro II.**  
**Límites de confianza de la fragmentación del bosque salvadoreño.**

Nivel de fragmentación	Límites de confianza con $\alpha$ 5%
Alta	$\geq 0.072$
Media	$> 0.004; 0.072 <$
Baja	$\leq 0.004$

pre verdes (37%) es debido a que estas áreas son pequeños relictos de bosque, sometidos a la constante presión humana para satisfacer necesidades alimenticias y económicas.

Estos bosques son frágiles y vulnerables y, al carecer de un área de amortiguamiento, tenderán a desaparecer. La alta fragmentación de las plantaciones monoespecíficas (58%) se debe sobre todo a políticas de reforestación aisladas y de poca extensión.

Los bosques de mangle (25%), caducifolio (14%), mixtos semicaducifolios (13%) y coníferas (11%) presentan fragmentaciones menores.

Los bosques que presentan el nivel de fragmentación bajo son: coníferas (71%), mixtos semicaducifolios (55%), siempre verdes (19%) y caducifolios (12%), y son menos vulnerables a la presión humana.

**Cuadro III.**  
**Fragmentación por tipo de bosque en El Salvador.**

Tipo de bosque	Área (ha)	Fragmentación (%)		
		Alta	Media	Baja
Coníferas	73 997	11	46	43
Mixto	17 704	41	59	-
Mangle	39 027	25	75	-
Plantaciones	5 344	58	42	-
Galería	18 499	73	27	-
Caducifolio	108 065	14	36	50
Siempre verdes	23 960	37	38	25
Mixto semicaducifolio	110 111	13	36	51

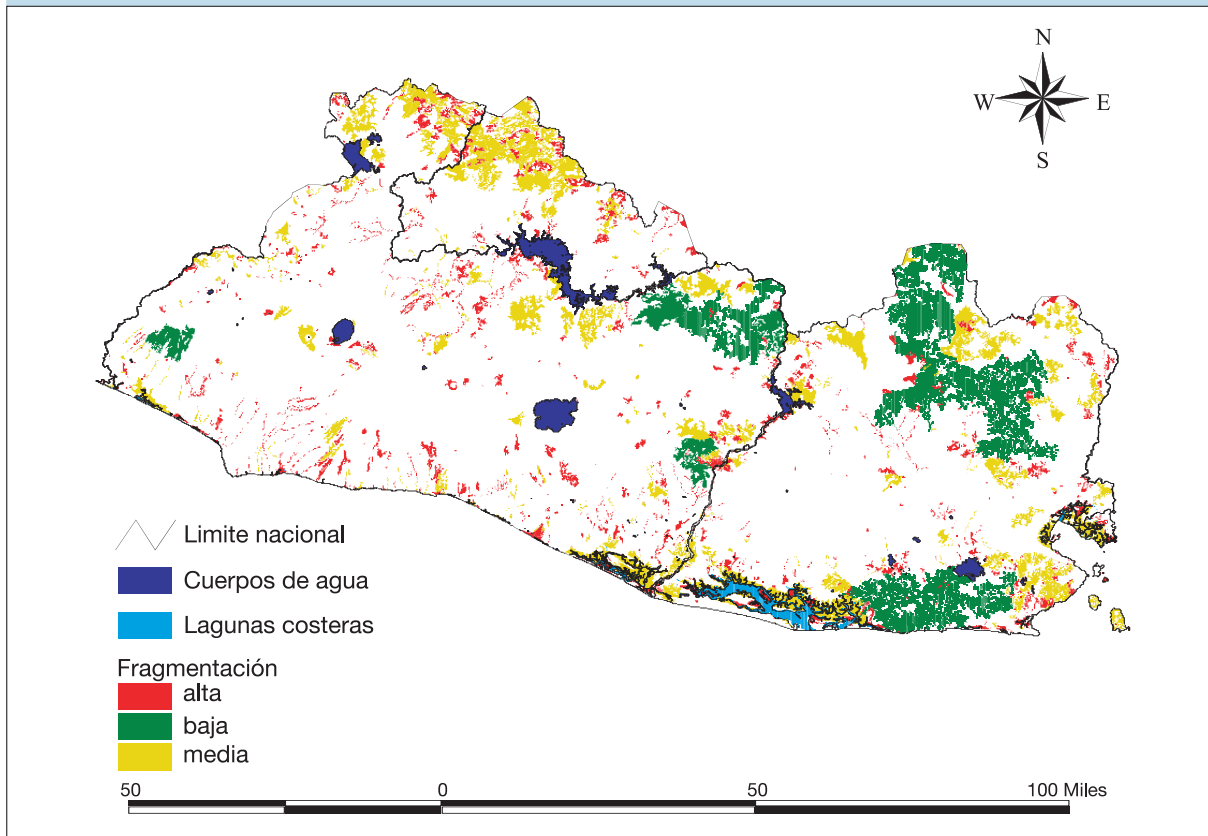
## Barreras y conectividad

El área de conectividad espacial generada por los dos parches de bosque cercanos disminuirá, debido a que en la matriz existen ocupaciones de cultivos de granos básicos y tejido urbano que son barreras al movimiento de las especies. Se tuvieron en cuenta las barreras biofísicas identificadas en el paisaje para establecer la conectividad.

Se establecieron esquemas de conectividad del bosque con distancias de conexión entre los parches de 0.5, 1.5 y 2.5 km (Figura 5a). El incremento de las áreas de conectividad a medida que las distancias son mayores es importante (Figura 6). Del mismo modo, hay un incremento considerable en la conectividad al incluir la cobertura de café, logrando la continuidad en zonas que antes se presentaban aisladas (Figura 5b y 6). La conectividad se incrementa en un 71% (distancia de 0.5 km) y hasta en un 27% (distancia de 2.5 km) con la cobertura de café. Se observa así la importancia de este cultivo, ya que contribuye a la conectividad de las coberturas boscosas y presenta características que lo asemejan a un área natural. Es adecuado para conectar áreas que anteriormente quedaban aisladas, sirviendo como corredor para las especies que interaccionan dentro del paisaje, o bien como refugios permanentes.

## Puntos de paso del bosque

En la figura 7 se identifican con claridad una serie de parches de bosques mixtos semicaducifolios ubicados al norte, en el departamento de Chalatenango, los cuales constituyen importantes puntos de paso entre los humedales del embalse de Cerrón Grande (Río Lempa) y la zona norte. Por otra parte, al este de El Salvador, en el departamento de La Unión, los bosques de galería, de formas alargadas y de poca anchura, resultan ser importantes puntos de paso. A nivel nacional, se han identificado todos estos puntos de paso.



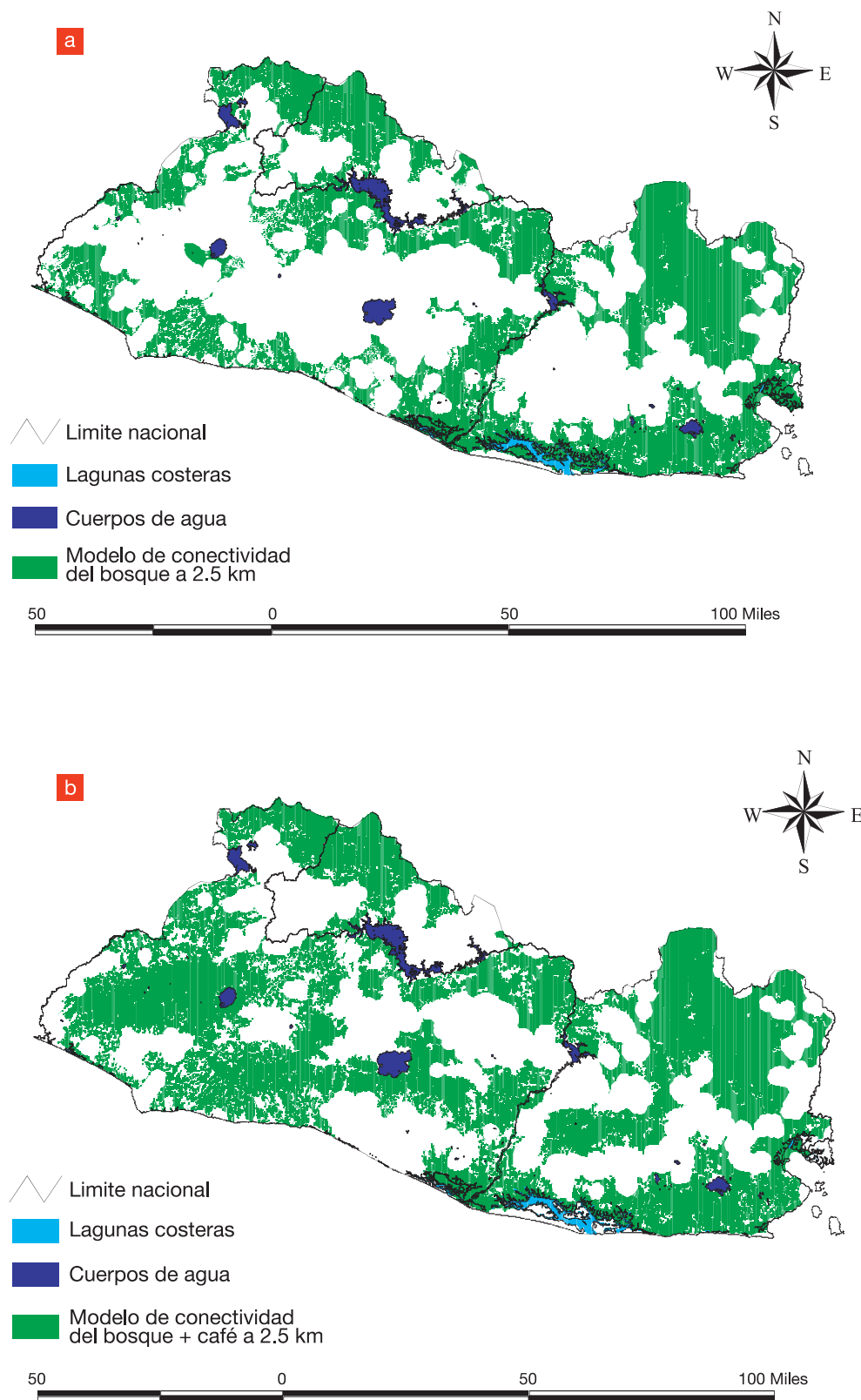
**Figura 4.**  
Mapa de fragmentación del bosque salvadoreño (2004).



Bosques de la cordillera Alotepeque-Metapán (El Salvador).  
Foto MARN.

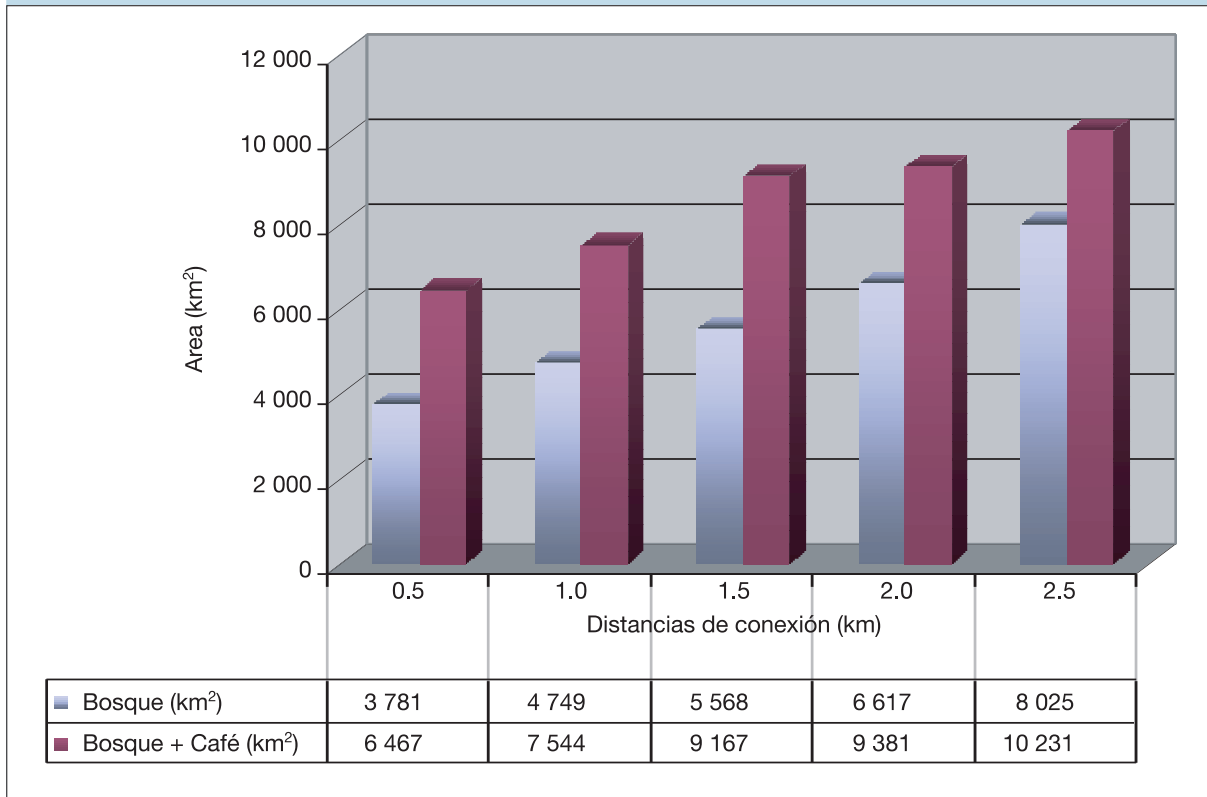
**Cuadro IV.**  
Categorías de bosques  
de los puntos de paso.

Tipos de parches	Parches (n)	Área (ha)
Coníferas	49	4 775
Mixto	29	2 792
Mangle	115	12 716
Plantaciones	27	1 389
Galería	72	5 805
Caducifolio	77	12 599
Siempre verdes	17	933
Mixto semicaducifolio	36	8 361
Café	26	4 569
<b>Total</b>	<b>448</b>	<b>53 939</b>



**Figura 5.** Conectividad a) del bosque y b) del bosque más café con distancia de conexión entre los parches de 2.5 km.



**Figura 6.**

Comparación de las áreas conectadas de bosque y de bosque más café.

En la siguiente tabla se presentan las categorías de coberturas boscosas a las que corresponden los puntos de paso y sus características. El bosque de mangle y los bosques cadufolios se muestran como los que conectan más áreas importantes de bosque. Los puntos de paso son numerosos y el área media de cada uno es más o menos de 120 hectáreas, es decir, que estos puntos de paso son de muy poca extensión y muy vulnerables (Cuadro IV).

Pero este mapeo demuestra que los puntos de paso son impor-

tantes conectores de hábitat y que pueden cumplir bien con funciones ecológicas como corredores para movimiento de las especies, hábitat temporal o para evitar el aislamiento. Si desapareciesen estos corredores, la conectividad entre los mayores bosques del país se vería muy comprometida. Los puntos de paso identificados deberían ahora investigarse en campo y, una vez reconocida su importancia por los sectores ambientales, algunos de estos puntos de paso podrían formar parte del sistema natural de áreas protegidas.

### Corredor Biológico Mesoamericano y conectividad del bosque

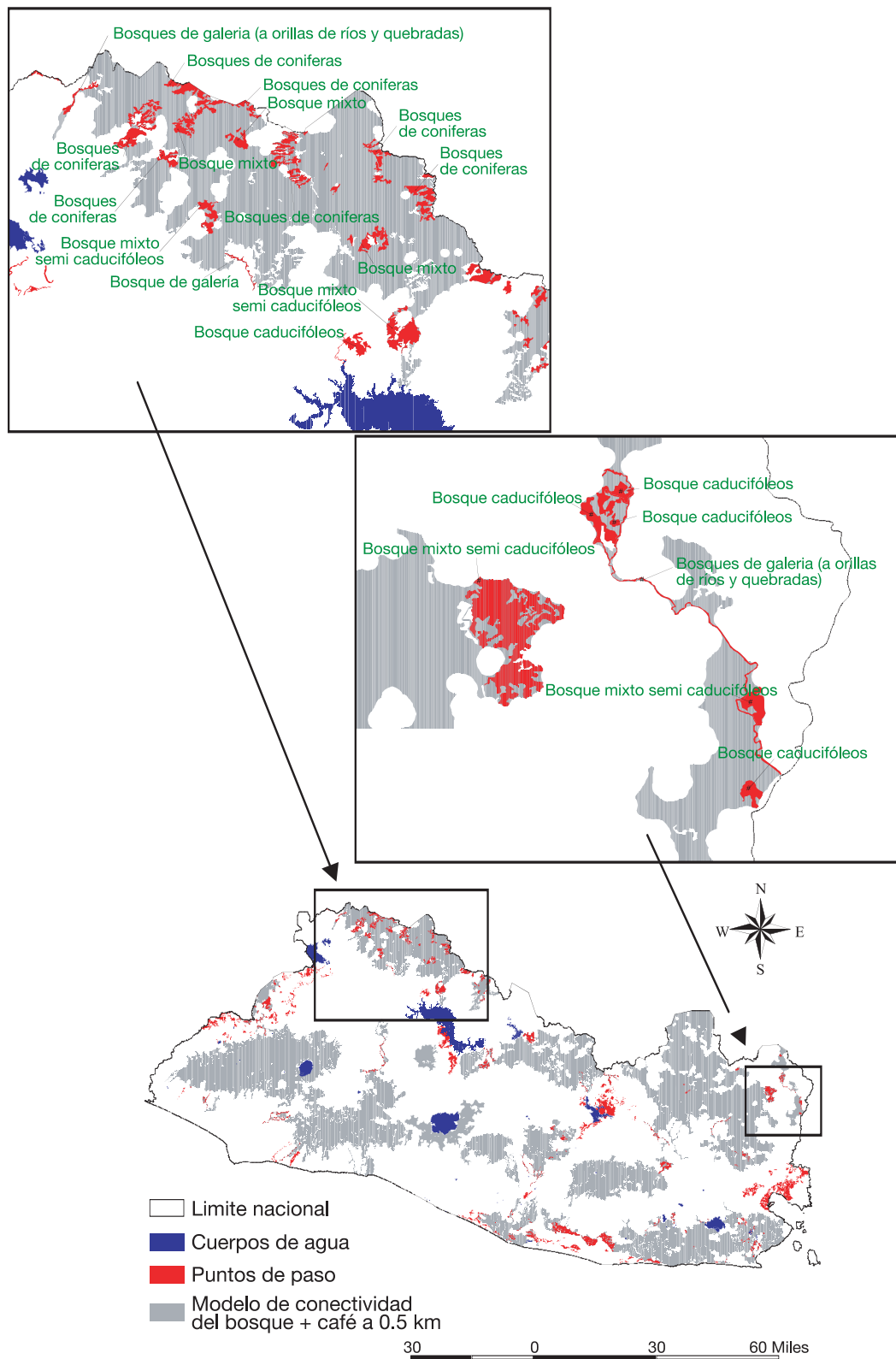
Las intersecciones espaciales entre el Corredor Biológico Mesoamericano y la conectividad, a una distancia de conectividad de 2.5 kilómetros, nunca llegan a coincidir completamente (Figura 8). Es notable que se generen nuevas áreas que no son cubiertas por el Corredor Biológico Mesoamericano y que podrían tomarse en cuenta dentro de la propuesta de Corredor Biológico, específicamente en la parte central y norte del país.

Las áreas de intersección son cuantificadas entre la propuesta de Corredor Biológico Mesoamericano y la conectividad del bosque y de "bosque más café" (Cuadro V).

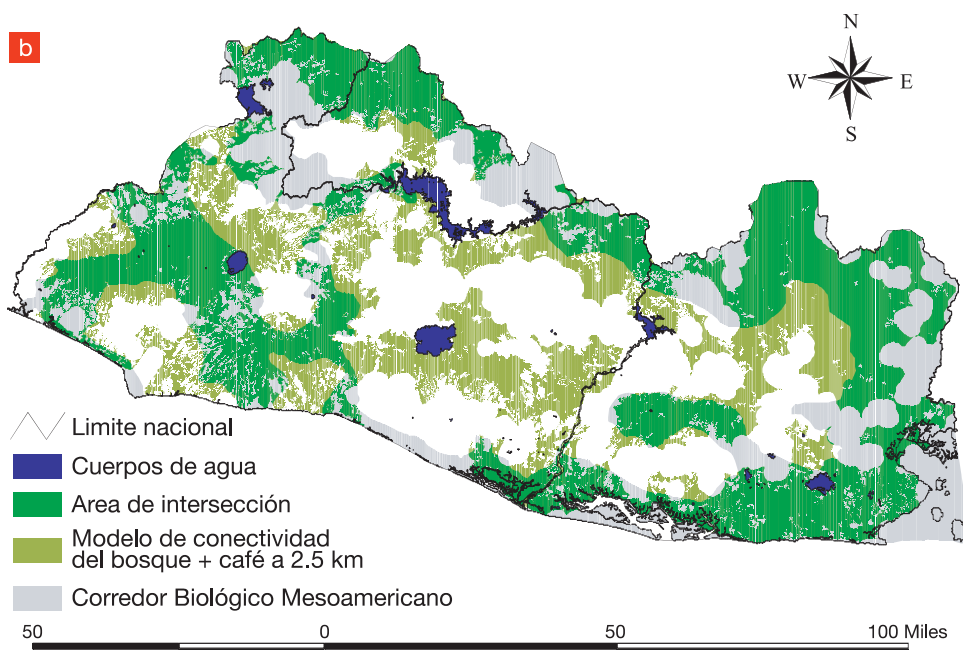
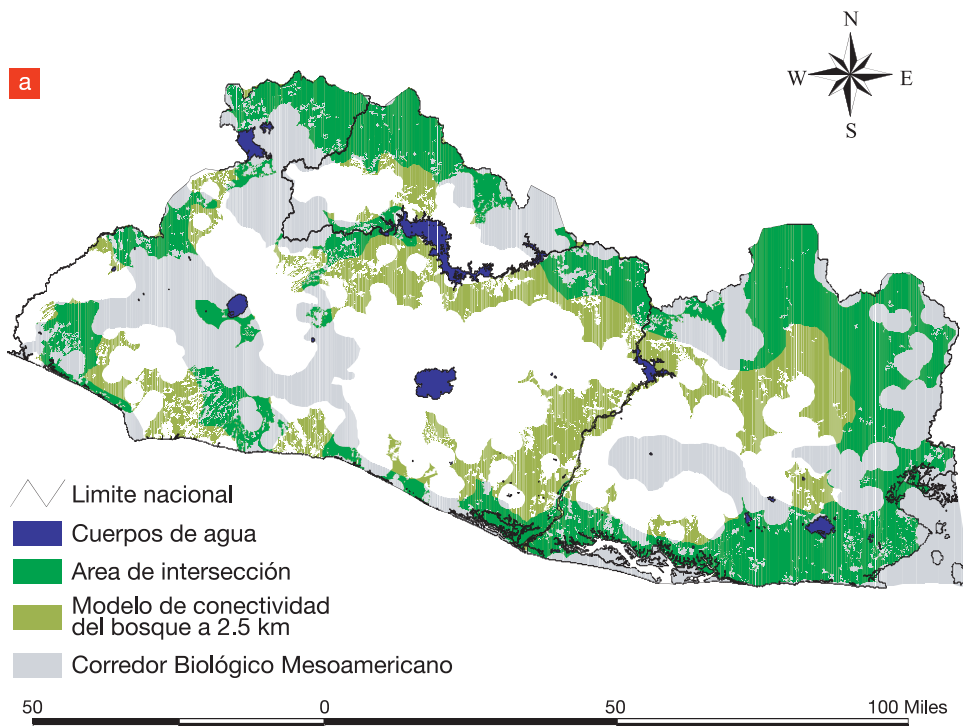
En el caso de la cobertura de bosque y café, las áreas que coinciden con la propuesta de Corredor Biológico aumentan considerablemente. Aparecen nuevas áreas en la

**Cuadro V.**  
Intersección entre el Corredor Biológico Mesoamericano (CBM) y la conectividad del bosque y del bosque con el café.

Distancia de conexión (km)	Área de intersección con bosque		Área de intersección con bosque + café	
	(km <sup>2</sup> )	CBM (%)	(km <sup>2</sup> )	CBM (%)
0.5	2 821	26	4 492	41
1.0	3 455	32	5 117	47
1.5	3 963	36	5 842	53
2.0	4 483	41	5 986	55
2.5	5 055	46	6 396	58



**Figura 7.**  
Puntos de paso en Chalatenango (NW), en la Unión (NE) y en todo el territorio de El Salvador.

**Figura 8.**

Intersección entre el Corredor Biológico Mesoamericano y el modelo de conectividad a 2.5 km de a) del bosque y b) del bosque con café de sombra.

**Cuadro VI.**  
Ríos y quebradas de la zona entre  
El Imposible y Barra de Santiago

Nombre del afluente	Longitud (km)
Quebrada Hoja de Sal	8.4
Río Aguachapio	15
Río Cara Sucia	12
Río Cuilapa	4.6
Río El Cabra	4.7
Río El Corozo	8.8
Río El Cucurucho	3.1
Río El Izcanal	9.9
Río El Naranjo	6.5
Río Guayapa	8.8
Río Jencho	4.9
Río La Palma	2.6

parte central del país que no son tomadas en cuenta y que bien podrían fortalecer la propuesta. Es importante enfatizar que el cultivo de café juega un papel ecológico fundamental en El Salvador y que no se limita a una importancia de carácter económico.

### Escenario de desaparición del café de bajo

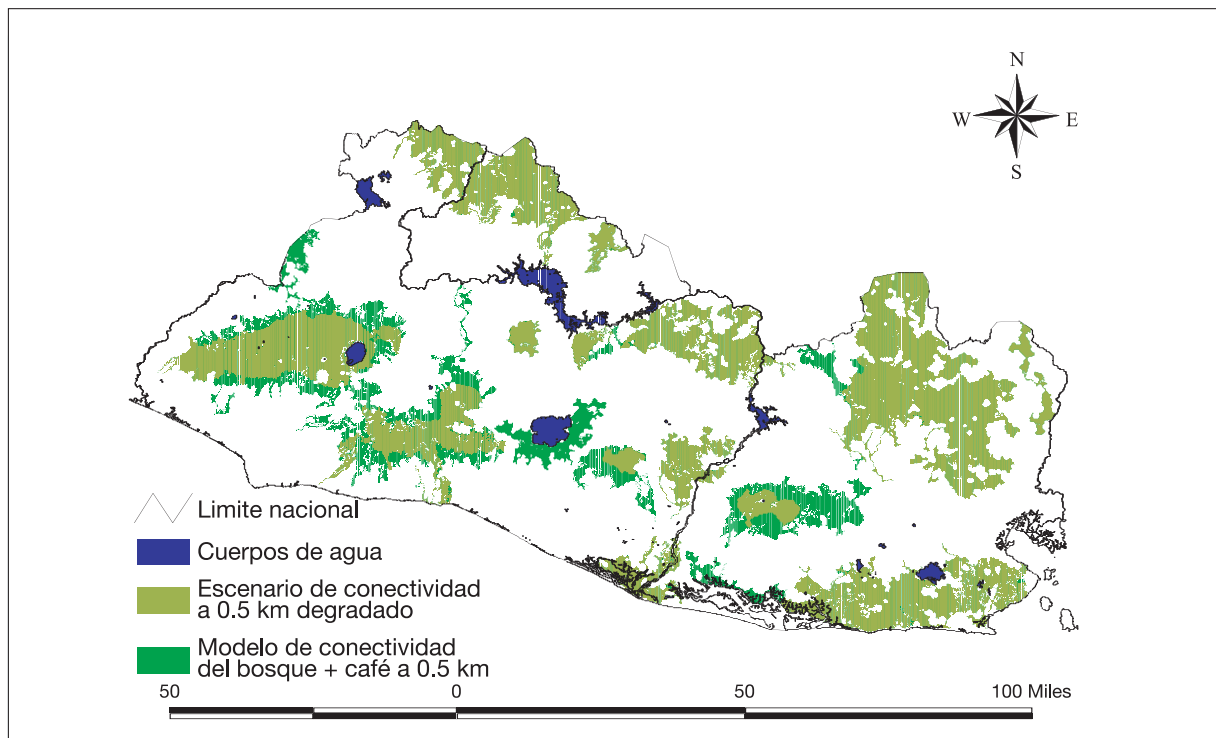
De acuerdo al contexto del mercado internacional que durará a largo plazo, nos planteamos la hipótesis del desaparecimiento de la cobertura de café inferior a 800 msnm. Este escenario implica la desaparición de 120 000 hectáreas de cobertura de café con sombra.

Si estas áreas adoptaran otros usos, como cultivos de granos básicos, tejidos urbanos, o se convirtieran en zonas industriales, la conectividad del bosque salvadoreño a 0.5 km perdería unas 147 000 hectáreas (Figura 9) de un total de 646 700 hectáreas conectadas, o sea, cerca del 22.7 % de pérdida de conectividad. En este escenario, los impactos negativos de la desaparición del café de bajo serían bastantes fuertes sobre el Corredor Biológico Mesoamericano y principalmente en las conexiones de la cordillera central, que desaparecerían.

### Escenario de mejoramiento de los bosques de galería

Para establecer el escenario de mejoramiento de los bosques de galería entre las áreas de conservación Barra de Santiago y El Imposible, se seleccionó la red hídrica que tuviera alguna influencia en la conectividad entre las Unidades de Conservación El Imposible y Barra de Santiago (Cuadro VI) y se determinó un ancho de 50 metros en cada uno de los afluentes seleccionados, creando nuevas coberturas de bosques de galería para mejorar la conectividad de estas dos Unidades de Conservación.

Con este escenario se creó una conectividad a una distancia de 0.5 km para conectar El Imposible y Barra de Santiago (Figura 10). De esta manera, las dos Unidades de Conservación se logran conectar a través de corredores lineales conformados por bosques de galerías que siguen el cauce de los ríos y que podrían incrementar el flujo de material genético, aves migratorias o cualquier otro organismo que se encuentre en estos tipos de hábitat.



**Figura 9.**  
Impacto de la desaparición del café de bajo a menos de 800 msnm sobre la conectividad del bosque. En verde oscuro, la pérdida de conectividad.



## Conclusiones

El estado actual de fragmentación del bosque salvadoreño puede ser caracterizado con métricas espaciales simples que permiten ubicar los bosques más vulnerables a las actividades humanas. La densidad de parches se muestra como un buen indicador, fácil de entender y calcular. La caracterización de esta fragmentación indica un 26 % del bosque con muy alta fragmentación. Este bosque es muy vulnerable a factores antropogénicos. Todas las regiones del país tienen bosques de fragmentación alta, pero son las zonas menos boscosas, en el centro y sur del país, las que serían más afectadas.

El procedimiento que hemos desarrollado para determinar la conectividad espacial del bosque permite establecer corredores e identificar áreas importantes para el mantenimiento de la conectividad. Mediante este método se ubican y caracterizan

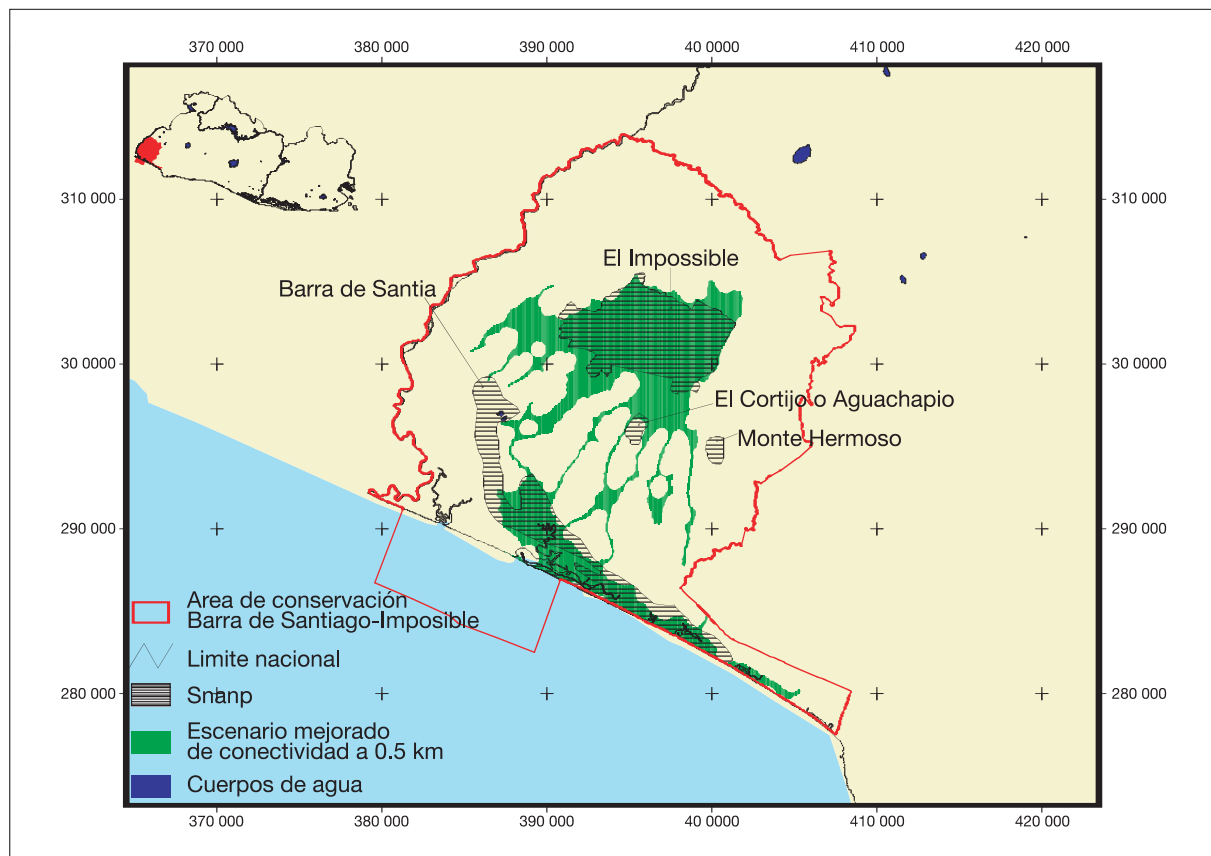
puntos de paso entre grandes unidades de bosque. Se identifican también varias diferencias entre el bosque conectado y la propuesta de Corredor Biológico Mesoamericano en El Salvador. Estos resultados son un aporte significativo para la consolidación de esta propuesta de Corredor que podría ser adaptada a la realidad del bosque salvadoreño.

Este estudio plantea el papel importante que tiene el cultivo de café con sombra para la conectividad espacial del bosque salvadoreño y la propuesta del Corredor Biológico Mesoamericano. El cultivo de café tiene que ser integrado a la propuesta de Corredor.

Los escenarios de cambio de uso de suelo simulan contextos futuros, probables o posibles, tanto de situaciones desfavorables como de mejoramiento en el paisaje. En este sentido, el impacto que tendría la desaparición del café de bajo sería muy importante sobre la conectividad

del bosque salvadoreño, con una pérdida de conectividad del 22.7%. Por otra parte, el mejoramiento de la cobertura boscosa a lo largo de los ríos mediante políticas de conservación entre las Unidades de Conservación El Imposible y Barra de Santiago permitiría conectar estas dos áreas naturales y mejorar el flujo de material genético.

Este estudio de fragmentación y conectividad del bosque está relacionado con la escala espacial del mapa de uso de suelo que hemos utilizado. Para establecer con mayor precisión la fragmentación y la conectividad del bosque sería interesante tener datos a una escala espacial más detallada. Se podría también mejorar el estudio de conectividad tomando en cuenta parámetros relativos a vientos y relieves. No obstante, los resultados obtenidos nos dan un mejor conocimiento del bosque de El Salvador e informaciones valiosas para preservar el potencial y la diversidad biológica de esta zona.



**Figura 10.**

Escenario de mejoramiento de la conectividad entre las Unidades de Conservación El Imposible y Barra de Santiago (Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas) con bosques de galerías.

## Bibliografía

- BEIER P., NOSS R.F., 1998. Do habitat corridors provide connectivity? *Conservation Biology*, 12: 1241-1252.
- BENNET A.F., 1998. Linkages in landscape: the role of corridors and connectivity in wildlife conservation. UICN, Gland, Switzerland and Cambridge, Reino Unido, 254 p.
- BUREL F., BAUDRY J., 1995. Species biodiversity in changing agricultural landscapes: a case study in the Pays d'Auge, France. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 55: 193-200.
- BUSTAMANTE R., GREZ A., 1995. Consecuencias ecológicas de la fragmentación de los bosques nativos. *Ciencia y ambiente*. 11 (2): 58-63.
- DIAMOND J.D., 1975. The island dilemma. Lessons of modern biogeographic studies for the design of natural reserves. *Biological Conservation*, 7: 129-146.
- FARINA A., 1997. Landscape structure and breeding bird distribution in a sub-mediterranean ago-ecosystem. *Landscape Ecology*, 12: 365-378.
- FORMAN R.T., 1995. Land mosaics: the ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press, Reino Unido, 632 p.
- GALIANO E.F., STERLING A., VIEJO J.L., 1985. The role of riparian forests in the conservation of butterflies in a mediterranean area. *Environment Conservation*, 12: 361-362.
- HILL M.O. (ed.), 1995. The role of corridors, stepping stones and islands for species conservation in a changing climate. *English Nature Research Reports*, 75.
- IMBERNON J., BRANTHOMME A., 2001. Characterization of landscape patterns of deforestation in tropical rain forests. *International Journal of Remote Sensing*, 22, 9: 1753-1765.
- KNUFER J.A., 1995. Landscape ecology and biogeography. *Progress in Physical Geography*, 19 (1): 18-34.
- KUBES J., 1996. Biocentres and corridors in a cultural landscape. A critical assessment of the 'territorial system of ecological stability'. *Landscape and Urban Planning*, 35: 231-240.
- LAGOS J.A., 1997. Compendio de botánica sistemática. San Salvador, El Salvador, Concultura, 318 p.
- LINDENMAYER D.B., NIX H.A., 1993. Ecological principles for the design of wildlife corridors. *Conservation Biology*, 7 (3): 627-630.
- MARN, 2003. Manual de inventarios y monitoreo de la biodiversidad. San Salvador, El Salvador, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 120 p.
- MCGARIGAL K., MARKS B.J., 1994. Fragstats: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Oregon, Estados Unidos, Oregon State University, 141 p.
- MECH S.G., HALLET J.G., 2001. Evaluating the effectiveness of corridors: a genetic approach. *Conservation Biology*, 15: 467-474.
- MÚGICA M., DE LUCIO J.V., MARTÍNEZ C., SASTRE P., ATAURI J.A., MONTES C., 2002. Integración territorial de espacios naturales protegidos y conectividad ecológica en paisajes mediterráneos. *Servicios Ambientales Consejería de Medio Ambiente Junta de Andalucía, España*, 124 p.
- OPDAM P., 1990. Dispersal in fragmented populations: the key to survival. *In: Species dispersal in agricultural habitats*. Bunce R.G.H. and Howard D.C. (ed.), Belhaven Press, London, Reino Unido, 3-17.
- SANTOS T., TELLERÍA J.L., CARBONELL R., 2002. Bird conservation in fragmented Mediterranean forests of Spain: effects of geographical location, habitat and landscape degradation. *Biological Conservation*, 105 (1): 113-125.
- SAUNDERS D., HOBBS R. (ed.), 1991. *Nature conservation 2: the role of corridors*. Beatty and Sons, Surrey, Reino Unido, 442 p.
- SIMBERLOFF D., FARR J.A., COX J., MEHLMAN D.W., 1992. Movement corridors: conservation bargains or poor investments? *Conservation Biology*, 6 (4): 493-504.
- SMITH D.S., HELLMUND P.C., 1993. *Ecology of Greenways*. Minesota University, Estados Unidos, 222 p.
- TAYLOR P.D., FAHRIG L., HENEIN K., MERRIAM G., 1993. Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 68 (3): 571-573.
- WIENS J.A., MILNE B.T., 1989. Scaling of "landscapes" in landscape ecology, or, landscape ecology from a beetle's perspective. *Landscape Ecology*, 3 (2): 87-96.
- WITH K.A., CRIST T.O., 1995. Critical thresholds in species response to landscape structures. *Ecoly*, 76 (8): 2 446-2 459.
- WITH K.A., 1997. The application of natural landscape models in conservation biology. *Conservation Biology*, 11 (5): 1 069-1 080.