



Propuesta de una red de conectividad estructural ecológica en la cuenca del río Coapa, Chiapas, México

Informe técnico

Junio de 2007

Claudia Bouroncle, Geolatina S.A.

Este informe ha sido posible gracias al apoyo del pueblo de los Estados Unidos de América a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). El contenido de esta publicación es responsabilidad del consultor y no refleja necesariamente el punto de vista de The Nature Conservancy, USAID o del Gobierno de los Estados Unidos de América.

Tabla de contenido

1	Introducción	5
2	Descripción del área de estudio	6
3	Metodología	6
3.1	Generalidades	6
3.2	Fuentes de información.	7
3.3	Caracterización del paisaje	7
3.4	Identificación de núcleos de hábitat prioritarios para la conservación fuera de las áreas protegidas	7
3.5	Priorización de las unidades de paisaje para la conectividad estructural ecológica	10
3.6	Modelación de redes de conectividad estructural	12
4	Resultados y discusión	13
4.1	Caracterización del paisaje	13
4.2	Análisis de la conectividad estructural ecológica	15
5	Conclusiones y recomendaciones	20
6	Literatura citada	22
	Anexo A. Términos de referencia	25
	Anexo B. Descripción de los suelos de la cuenca del río Coapa, según ISDEMAC (2002).	31
	Anexo C. Especies predominantes en los tipos de vegetación natural de la cuenca del río Coapa, según ISDEMAC (2002).	33
	Anexo D. Criterios para la selección de áreas de conservación y restauración en la cuenca del río Coapa (adaptado de Zylstra, comunicación personal)	34

Lista de cuadros

Cuadro 1.	Superficie (km ²) por categoría para la zona de estudio actualizada.	8
Cuadro 2.	Índices de fragmentación utilizados la caracterización del paisaje (McGarigal y Marks 1995).	8
Cuadro 3.	Criterios y variables usados para la identificación de núcleos prioritarios de hábitat natural.	9
Cuadro 4.	Criterios y variables usados para establecer la dificultad de desplazamiento.	11
Cuadro 5.	Superficie (km ²) por categoría para los sectores de la zona de estudio.	13
Cuadro 6.	Valores de índices de área, densidad y tamaño de los fragmentos a nivel de paisaje por clases de fragmentos.	14
Cuadro 7.	Valores de índices de forma y área núcleo a nivel de paisaje de fragmentos de vegetación natural.	14
Cuadro 8.	Valores de índices de proximidad y agregación espacial a nivel de paisaje de fragmentos de vegetación natural.	14
Cuadro 9.	Área que ocupan los escenarios en las diferentes categorías de uso del suelo, considerando un buffer de 100 m a cada lado de la línea de la red.	15
Cuadro 10.	Área que ocupan las redes en los escenarios 1, 2 y 3 en los valores de fricción, considerando un buffer de 100 m a cada lado de la línea de la red.	19
Cuadro 11.	Área que ocupan la red de conectividad del escenario 1 en las diferentes categorías de uso del suelo, considerando un buffer de 100 m a cada lado de la línea de la red.	19

Mapas insertos

Propuesta de red de conectividad estructural ecológica en la cuenca del río Coapa, Chiapas, México (sobre imágenes multiespectrales Quickbird y SPOT). 1:50 000

Propuesta de red de conectividad estructural ecológica en la cuenca del río Coapa, Chiapas, México (sobre caracterización de la cobertura de uso del suelo elaborada por Flamenco et ál. 2006). 1:50 000.

1 Introducción

Dos estrategias complementarias de conservación de la diversidad biológica y de los servicios ecosistémicos consisten en mantener muestras representativas de comunidades naturales, generalmente a través de áreas protegidas; y la conectividad entre estas comunidades, permitiendo la dispersión de plantas y animales y por ende, el intercambio de genes para mantener su viabilidad y la colonización de sitios adecuados, usualmente a través de corredores biológicos (Beier y Noss 1998, Barrett y Bohlen 1991). En este sentido, el concepto de conectividad de paisaje es definido como el grado en el cual éste facilita el movimiento de organismos entre diferentes fragmentos de hábitat (Tischendorf y Fahrig 2000).

La conectividad estructural entre los diferentes tipos de hábitat de un paisaje está definida por su distribución espacial, estando entre los factores más influyentes el tamaño de las brechas entre los fragmentos de hábitat y el gradiente entre los mismos. Es decir, cuanto más cerca estén los fragmentos de bosque uno de otro, y menor contraste haya entre estos y el hábitat que los rodea (p. ej., el contraste entre un bosque y una plantación forestal es menor que el que existe entre un bosque y un pastizal) habrá mayor conectividad estructural. Al menos para el factor de distancia, se ha propuesto una serie de índices cuantitativos (p. ej. medidas de los sistemas de circuitos, tamaño de las mallas, dimensión de las superficies subdivididas, Bennett 1999) y gráficos que nos permiten apreciar más claramente el aumento o disminución de conectividad en un paisaje, según avancen ciertos procesos o se implementen ciertas estrategias.

El análisis de la conectividad estructural utilizando como base información de uso del suelo y de áreas ecológicamente importantes permite desarrollar modelos de apoyo a la toma de decisiones, como lo ilustran los casos desarrollados en Florida (Hoctor et ál. 1999) y en paisajes montanos y de bajura de Costa Rica (Ramos 2004, Murrieta 2006 y Céspedes 2006). En estos casos, se empleó información de cobertura de comunidades vegetales y uso del suelo, para identificar áreas de prioridad ecológica y potenciales conexiones, haciendo operativas las propuestas de conectividad contenidas en estudios preliminares a nivel nacional. Igualmente, es posible el diseño de una red de conectividad estructural ecológica utilizando mapas detallados de cobertura vegetal y de uso del suelo, y la caracterización básica de las comunidades vegetales, para lo cual puede ser suficiente el uso de la información relativa a las especies comunes o dominantes (Finegan et ál. 2001).

En el caso de la cuenca del río Coapa (CRC), Flamenco et ál. (2006) realizaron una caracterización detallada de su cobertura vegetal, distinguiendo doce formaciones vegetales naturales (once boscosas y una de monocotiledóneas acuáticas), áreas de vegetación perturbada por actividades agropecuarias o incendios, áreas con predominio de actividades agrícolas y otras áreas con cobertura no vegetal, a escalas de 1:25,000 y 1:5,000. Esta caracterización, complementada con la información secundaria de las formaciones vegetales naturales y una consulta a expertos, fue el punto de partida para el diseño de esta propuesta de red de conectividad ecológica entre las reservas de la biosfera El Triunfo y La Encrucijada.

La propuesta tiene como objetivo la identificación de fragmentos prioritarios de comunidades vegetales para conservación, de sitios para restauración y de rutas de conectividad (rutas de menor costo) que tome en cuenta las características de estructura y composición en el paisaje (calidad de hábitat y presiones antrópicas), como parte de un enfoque de conservación a escala de paisaje de los remanentes de vegetación natural y los servicios ambientales en la CRC (Ver términos de referencia en el Anexo A). Así, contribuirá a la priorización de recursos para las acciones de conservación del plan de gestión de la cuenca del mismo nombre, una experiencia piloto del plan de conservación de las cuencas costeras de Chiapas.

2 Descripción del área de estudio

La CRC está dentro del municipio de Pijijiapan, en el estado de Chiapas, México, entre las coordenadas UTM 1707.36 – 1741.66 N y 470.28 - 500.24 O, y tiene un área de 406.84 km². Colinda con la Sierra Madre de Chiapas al norte, las cuencas de los ríos Pijijiapan y Margaritas al oeste y este respectivamente y el océano Pacífico al sur; teniendo una longitud de 34 km aproximadamente en su orientación noreste-sureste.

La cuenca está formada de la planicie costera a lo largo de 20 km, entre 0 y 200 msnm, con pequeñas lomas; y las laderas de la vertiente occidental de la Sierra Madre de Chiapas a lo largo de 14 km entre 200 y 2500 msnm, disectadas por varios valles intermontanos. La temperatura y precipitación se distribuyen de acuerdo a este relieve: la planicie costera tiene temperaturas anuales promedio cercanas a los 30 °C y precipitaciones entre 2000 y 2500 mm (en menos de 100 días al año, y las laderas entre 18 y 27°C y 2500 y 3000 mm (entre 120 y 180 días al año) (ISDEMAC 2002). También los tipos de suelo (seis, según la descripción hecha por ISDEMAC 2002, Anexo B), en su mayoría susceptibles a la erosión de manera moderada a alta están distribuidos en función a la fisiografía. La cuenca contiene la mayor parte de la superficie de dos áreas núcleo de reservas de la biosfera: en el extremo noreste la Zona Núcleo IV El Venado de la Reserva de la Biosfera El Triunfo (27.48 km²), y la Zona Núcleo El Palmarcito de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada (46.74 km²)

La carta digital de cobertura del terreno de la cuenca (Flamenco et ál. 2006) muestra que sólo el 23% de la cuenca está cubierto con vegetación natural (la mayor parte concentrada en las zonas núcleo mencionadas); mientras que el 25% y el 42% de la cuenca corresponden a vegetación perturbada y actividades agropecuarias (principalmente pastizales). El 10% restante corresponde a la cobertura no vegetal (cuerpos de agua, aluviones, playas y poblados). Los remanentes de vegetación natural corresponden a nueve tipos diferentes (según la clasificación de Rzedowski), que de acuerdo a la gradiente altitudinal tres corresponden a bosques templados (bosque de encino, bosque de pino – encino y bosque mesófilo de montaña), cinco a bosques tropicales zonales (selva mediana subperennifolia) y azonales (selva inundable, vegetación riparia, manglar rojo y manglar blanco) y uno a vegetación azonal tropical (tular). Las especies predominantes de estos tipos de vegetación se mencionan en el Anexo C.

De acuerdo a la clasificación de paisajes según su grado de alteración elaborada por McIntyre y Hobbs (1999), el paisaje de la CRC es uno fragmentado, lo cual implica una baja conectividad del hábitat natural remanente.

3 Metodología

3.1 Generalidades

La secuencia para el diseño de la red de conectividad ecológica estructural en la CRC se organizó en tres pasos:

- a. Identificación de núcleos de hábitat prioritarios para la conservación fuera de las áreas protegidas.
- b. Definición de niveles de dificultad al movimiento de la biota silvestre en el área intermedia de los núcleos de hábitat prioritarios para la conservación (matriz)
- c. Modelación de la red de conectividad que integra los núcleos de hábitat prioritarios para la conservación a través de las rutas de menor dificultad al desplazamiento.

Los criterios y variables utilizados en cada paso fueron identificados teniendo como base experiencias previas en Mesoamérica (ver Ramos 2004, Murrieta 2006 y Céspedes 2006) y en la propia cuenca del río Coapa (ver Ocampo 2006). Los rangos de dichos factores, así como sus pesos relativos, fueron ajustados en un proceso de consulta a un grupo de expertos. El objetivo, mecánica de la consulta, material presentado y resultados se describen en la memoria correspondiente.

3.2 Fuentes de información.

La identificación de áreas de vegetación natural y la clasificación de uso de la tierra en la CRC utilizó el mapa de uso actual de la tierra de la CRC (Flamenco et ál. 2006). Este mapa fue construido con base en la interpretación visual de dos imágenes Spot 5 del 2005 con una resolución de 5 y 10 m, y fue llevado a mayor detalle en el área de los ejidos Guanajuato y Salto de Agua (parte baja de la cuenca) mediante la interpretación de imágenes multiespectrales del sensor Quick Bird del 2005 con una resolución de 2.4 m. (El proceso de rectificación, interpretación visual y verificación en campo se describe en detalle en el documento correspondiente). El resultado no discrimina diferentes asociaciones vegetales, pero sí los tipos de vegetación más importantes y estados sucesionales, considerando cinco categorías diferentes: actividades agropecuarias, vegetación perturbada, vegetación natural, otros tipos de cobertura no vegetal y perturbaciones de las tomas, totalizando 28 sub categorías de uso del suelo en la CRC. El análisis consideró como área de estudio sólo el área que pudiera ser utilizada potencialmente en una ruta de conectividad, excluyendo las zonas núcleo de las áreas protegidas. Una vez excluidas estas zonas, el mapa incluye 26 sub categorías de uso (Cuadro 1). Además, fue utilizada información vectorial para la CRC (cursos de agua, carreteras, centros poblados, pendientes, límites de áreas protegidas y curvas a nivel cada 20 metros) provista por la oficina de TNC Chiapas y se realizaron dos visitas a diferentes puntos de la cuenca en febrero y mayo de 2007.

3.3 Caracterización del paisaje

La fragmentación del paisaje de la CRC muestra patrones evidentes relacionados al uso del suelo y por ende a la fisiografía de la cuenca, por lo cual, se hizo una subdivisión del paisaje para su caracterización, tomando en cuenta principalmente la variable altitudinal a 200 msnm, umbral de altitud que separa la planicie costera de la sierra (ver ISDEMAC 2002). El mapa así estratificado fue analizado con el programa Fragstats 3.3 (McGarigal et ál. 2002) considerando un tamaño de píxel de 10 m, para calcular el grado de fragmentación de la cobertura vegetal en la cuenca. Este análisis se realizó a nivel de dos paisajes (cuenca alta y cuenca media - baja) y de dos clases de fragmentos (vegetación natural y otros tipos de cobertura). En ambos niveles se consideraron los índices descritos en el Cuadro 2.

3.4 Identificación de núcleos de hábitat prioritarios para la conservación fuera de las áreas protegidas

En el marco de planificación utilizado comúnmente por TNC (2000), se definen como objetos de conservación las diferentes comunidades naturales.

Se identificaron los potenciales núcleos de hábitat prioritarios para la conservación en los fragmentos de cobertura natural con áreas interiores mayores a 5 ha. Para seleccionar los fragmentos prioritarios se utilizó una aproximación de su valor para la conectividad estructural utilizando un modelo de análisis multicriterio (adaptado de Hctor et ál. 2000, Ramos 2004, Murrieta 2006 y Céspedes 2006), donde se integraron cinco variables relacionadas con calidad de hábitat, vulnerabilidad y grado de amenaza de los mismos (Cuadro 3).

Cuadro 1. Superficie (km²) por categoría para la zona de estudio actualizada.

categorías de uso del suelo	sub categorías de uso del suelo		CRC	ZN RBET	ZN RBLE	área estudio
vegetación natural	zonal	bosque de encino	2.32	2.29	-	0.03
		bosque de pino-encino	0.73	0.71	-	0.03
		bosque mesófilo	13.79	11.72	-	2.07
		selva mediana subperennifolia	9.93	0.03	-	9.89
	azonal	selva inundable	0.15	-	-	0.15
		vegetación riparia	2.74	-	-	2.74
		mangle blanco	16.66	-	13.15	3.51
	mangle rojo	40.32	-	15.35	24.97	
	tular	7.57	-	0.97	6.60	
vegetación perturbada		área forestal quemada	0.45	0.45	-	-
	acahual	arbóreo	19.72	4.57	-	15.15
		arbustivo	66.07	5.82	-	60.25
		arbustivo con aluvión	1.05	-	-	1.05
		herbáceo	14.74	0.56	0.06	14.12
actividades agropecuarias	pastizal	con árboles o arbustos	81.33	-	0.76	80.57
		pastizal	72.38	0.02	0.76	71.60
		inundable	2.66	-	-	2.66
		con aluvión	0.32	-	-	0.32
	agricultura	de temporal	10.67	-	0.08	10.59
		cultivo permanente (+ frutales)	4.50	-	-	4.50
		huerto (+ árboles)	0.52	-	-	0.52
	cafetal	0.19	-	-	0.19	
cobertura no vegetal		cuerpo de agua	24.21	-	15.51	8.70
		playa	2.20	-	-	2.20
		aluvión	7.73	0.42	0.02	7.28
		deslave	0.57	0.54	-	0.03
		poblado	2.99	-	0.08	2.90
perturbaciones		nube o sombra	0.35	0.35	-	-
TOTAL			406.84	27.48	46.74	332.63

Cuadro 2. Índices de fragmentación utilizados la caracterización del paisaje (McGarigal y Marks 1995).

índice	significado
Área total	Cantidad del paisaje que está comprendido dentro de un tipo de fragmento en particular
Número de fragmentos	Grado de subdivisión o de fragmentación de la clase de fragmento
Densidad	Número de fragmentos de determinado uso por unidad de área
Índice de forma	Grado de complejidad de la geometría de los fragmentos
Área núcleo	Área total menos área correspondiente al efecto de borde (100 y 50 metros). El área núcleo integra el tamaño y la forma del fragmento, así como la distancia del efecto de borde considerada
Índice de proximidad	Grado en el cual los fragmentos de bosque están relativamente aislados en el espacio, de otros fragmentos similares.
Distancia euclídeana al vecino más próximo	Distancia geométrica menos al vecino más cercano.
Índice de conectancia	Número de uniones funcionales (pares de fragmentos similares está conectado entre sí).
Índice de agregación	Tendencia de los tipos de fragmentos a estar espacialmente agregados (distribuciones "contagiosas").

Cuadro 3. Criterios y variables usados para la identificación de núcleos prioritarios de hábitat natural.

critério	variable	rango ¹	valoración	explicación
> calidad del hábitat, > prioridad	área interior del fragmento (ha)	> 10	1	> tamaño de fragmento, > calidad de hábitat
		5 - 10	2	
		2 - 5	3	
		1 - 2	4	
		< 1	5	
> vulnerabilidad, > prioridad	altitud (msnm)	> 700	5	< representación en AP, > vulnerabilidad
		20 - 700	1	
		0 - 20	5	
	distancia a ríos (m)	0 - 100	1	> cercanía a los ríos, > vulnerabilidad
		100 - 250	2	
		250 - 500	3	
		500 - 1 000	4	
	> 1 000	5		
< grado amenazas, > prioridad	distancia a carreteras principales (m)	> 5 000	1	> cercanía a las vías, > amenazas
		1 000 - 5 000	2	
		500 - 1 000	3	
		100 - 500	4	
		< 100	5	
	densidad poblacional (habitantes / ha)	1 - 50	1	> densidad poblacional, > amenazas
		51 - 100	2	
		101 - 500	3	
		501 - 1 000	4	
	> 1 000	5		

Las razones por las cuales se definieron las variables, su rango y valoración son las siguientes:

- a. **Área interior de fragmento.** Esta variable integra varios aspectos de los fragmentos: su tamaño total, su forma y el efecto de borde. Los grandes remanentes de hábitat natural son recursos escasos en los paisajes fragmentados – dado que a medida que avanza el proceso de fragmentación, el tamaño de los fragmentos se sesga fuertemente hacia los segmentos pequeños – y valiosos, pues hay una correlación positiva entre el tamaño del hábitat y su biodiversidad, la probabilidad de contener hábitat raros y la posibilidad de mantener procesos naturales. Asimismo, hay una correlación positiva entre la proporción entre el perímetro y el área del fragmento - su forma – y la cantidad de hábitat natural cerca al borde del mismo, y por lo tanto, que está expuesta a los procesos físicos y biológicos que se dan ahí (velocidad del viento, temperatura, humedad, radiación solar, propiedades de los suelos, invasión de especies generalistas e incursión humana) (Bennett 1999). El área interior fue calculada para dos escenarios, restando el área de borde del área total del fragmento, y el área de borde se determinó estableciendo 50 metros desde el límite del fragmento hacia el interior (escenario 1, priorizado por el grupo de expertos) y 100 m (escenario 2); pues los principales cambios microclimáticos y edáficos más críticos alcanzan esa distancia (Bierregaard et ál. 2001).

A sugerencia del grupo de expertos, como área interior de los bosques riparios se definió su área total, ya que son ecosistemas naturalmente lineales y adaptados a la perturbación.

¹ 1 es la valoración de mayor prioridad para la conservación.

El rango fue establecido en función a la distribución de los fragmentos por clases de tamaño, y el valor para cada clase – usando una escala de 1 a 5 donde 1 es la mayor prioridad para la conservación - fue establecido de manera inversamente proporcional al rango de tamaño de cada clase.

- b. **Altitud.** Esta variable es considerada ya que la red de conectividad sigue una gradiente vertical de hábitat a lo largo de la cuenca. En función a esto, los fragmentos ubicados en rangos de altitud no representados en las áreas protegidas recibieron mayor prioridad (1) y los ubicados en los rangos de altitud representados, menor (5).
- c. **Distancia a ríos.** Dada la importancia de los bosques ribereños para la conectividad estructural, se definió como de alta prioridad (1) las áreas comprendidas entre 0 y 100 m de un curso de agua. Se aplicó para todos los cursos de agua el mismo rango debido a que no hay una distinción de su anchura en la cartografía disponible².
- d. **Distancia a carreteras y densidad poblacional.** Mas (2005 citado por Céspedes 2006) establece una clara relación entre la deforestación y las variables población y carreteras, afirmando el supuesto de que un fragmento de hábitat natural estará más amenazado si se encuentra en un área más densamente habitada o cerca de una carretera principal.

Las áreas a más de 5000 m de carreteras primarias o secundarias fueron establecidas como las de mayor prioridad, al igual que las áreas con una densidad de habitantes entre 1 y 50.

El grupo de expertos estuvo de acuerdo con los rangos propuestos, modificando sólo el de densidad poblacional, pues el rango original proponía como áreas prioritarias las que tuvieran entre 1 y 10 habitantes.

La integración de las variables se hizo mediante un promedio ponderado, en el cual se asignó un peso mayor (30%) a la variable área interior de fragmento para definir la importancia como núcleo prioritario de los fragmentos, ya que constituye la base de la calidad de hábitat, un peso de 20% a la distancia a los ríos y 17% a las variables restantes. Este proceso se realizó sobre un formato *raster* utilizando la extensión *Model Builder* y su función *Weighted overlay* del software *Arcview* 3.3, para crear un mapa cuyo valor por píxel fuera el promedio ponderado de los valores correspondientes en los mapas de cada variable ponderados en la misma escala (presentada en el Cuadro 3), es decir, un mapa que representa el nivel de prioridad para la conservación (entre 1 y 5) de los diferentes fragmentos. En ambos escenarios, los píxeles de cobertura natural con prioridad muy alta y media (1 a 3) mayores de 5 hectáreas se separaron del resto constituyendo núcleos de hábitat prioritario para la conservación y se convirtió a formato vectorial. También fueron eliminados los núcleos ubicados en el área comprendida entre el océano Pacífico y 2 km tierra adentro, por ser esta área no funcional para la conectividad.

3.5 Priorización de las unidades de paisaje para la conectividad estructural ecológica

En este paso se estableció el valor para la conectividad estructural de cada unidad de paisaje en el espacio fuera de las áreas protegidas y núcleos de hábitat prioritarios, tomando como unidad

² La Ley de Aguas Nacionales de México (2004) establece una protección sobre las riberas o zonas federales, que son fajas de 10 metros de ancho contiguas a los cauces; asimismo, define que estas fajas se delimitan a partir de 100 metros de la desembocadura en el mar (Artículo 3, inciso XLVII).

básica de paisaje aquellas áreas contiguas que comparten la misma sub categorías de uso del suelo (ver Cuadro 1). De acuerdo a los supuestos establecidos en estudios previos, se asume que mientras mayor es el valor para la conectividad estructural, menor es la dificultad para el desplazamiento de especies silvestres en general.

Siguiendo el esquema de análisis multicriterio definido en el punto anterior, se integraron cinco variables relacionadas con calidad de hábitat, vulnerabilidad y grado de amenaza de los mismos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Criterios y variables usados para establecer la dificultad de desplazamiento.

critério	variable	rango				valoración	explicación
> calidad del hábitat, > prioridad	naturalidad de la cobertura	vegetación natural y cuerpos de agua				1	< contraste con los hábitat naturales, < dificultad al tránsito
		acahual arbóreo, acahual arbustivo y cafetal con sombra				2	
		pastizal con árboles o arbustos y pastizal inundable				3	
		acahual arbustivo con aluvi6n, acahual herbáceo y huertos				4	
		pastizal, pastizal con aluvi6n, cultivo permanente, agricultura de temporal, aluviones y deslaves				5	
		Playas y poblados				Restringido	
> reducci6n riesgos por esfuerzo invertido, > prioridad	potencial para restauraci6n / conservaci6n	c. alta	> 25 °	c. media-baja	Suelos de baja productividad	1	
			17 - 25		otros	2	
			12 - 17			3	
		6 - 12	4				
		< 6 °	5				
		> vulnerabilidad, > prioridad	distancia a ríos (m)	Ídem al Cuadro 3.			
< grado amenazas, > prioridad	distancia a carreteras principales (m)						
	densidad poblacional (habitantes / ha)						

Las razones por las cuales se definieron las variables, su rango y valoraci6n son las siguientes:

- a. **Naturalidad de la cobertura.** Esta variable refleja el grado de naturalidad de la cobertura en el modelo de todos los fragmentos del área de estudio, asumiendo a mayor naturalidad de la cobertura, mayor calidad de hábitat (o menor grado de contraste con los hábitat de vegetaci6n natural) y que las actividades adoptadas por los agricultores que incorporan árboles en sus sistemas productivos pueden mejorar la conectividad (Baudry et ál. 2003). A cualquier fragmento con cobertura natural, no incluido como núcleo en el paso anterior, se le asignó la mayor prioridad (1). Los fragmentos con acahuales arbóreos (sucesi6n secundaria con estratos arbóreos) fueron clasificados como de segunda prioridad, y así sucesivamente como se describe en el Cuadro 4. Las áreas con poblados y otras coberturas desfavorables para la conectividad fueron clasificadas como “zonas restringidas”.

- b. **Potencial de restauración y conservación.** Esta variable incluye en el modelo una aproximación a la efectividad de los esfuerzos de mitigación de riesgos (de erosión de laderas y cauces), es decir, prioriza lugares que de recibir una inversión de protección o restauración, tendrían mayores resultados en el mantenimiento o recuperación de la calidad de hábitat, y por ende, mejorarían la conectividad entre núcleos.

Se asumieron dos criterios diferentes según los diferentes paisajes de la CRC (cuenca alta y cuenca media - baja, ver sección 3.3), siguiendo las recomendaciones de USFS (2007) y Zylstra (comunicación personal, Anexo D). Para la cuenca alta, se definieron como de mayor prioridad los fragmentos ubicados sobre pendientes iguales o mayores a 25 grados, es decir, las zonas más vulnerables a la erosión (criterio fisiográfico). Para la cuenca media y alta se consideró indistintamente como de mayor prioridad las zonas de aluviones y de pastos inundables, es decir, los de baja productividad para pastos. Este es el único criterio en el cual no se ha seguido estrictamente la recomendación del grupo de expertos (que recomendaron un rango establecido en función del tamaño del área de deposición en la cuenca media y baja) ya que no se cuenta actualmente con información cartográfica digital que permita dicho análisis.

- c. Un criterio importante para la elección de sitios con potencial de conservación o restauración son aquellos ubicados a 100 metros o menos de los cursos de agua, o aquellos que permiten la reconexión de las planicies inundables y cursos secundarios de agua con el río Coapa (ver Anexo D). Este criterio fue cubierto con la inclusión de la variable “**distancia a ríos**”, considerando rangos iguales a los utilizados para la selección de áreas núcleo (sección 3.4).
- d. Las variables “**distancia a carreteras**” y “**densidad poblacional**” fueron incluidas también considerando rangos iguales a los utilizados en la sección anterior.

Para el promedio ponderado para la integración de las variables, se asignó un peso mayor a la variable naturalidad de la cobertura (30%) y distancia a ríos (30%), un peso intermedio al potencial para restauración y conservación (20%) y un peso menor (10%) a las variables de distancia a carreteras y densidad poblacional. Complementariamente, se definió un escenario alternativo (escenario 3) ponderando todas las variables por igual, con fines de comparación. El proceso para obtener un mapa que representa el nivel de fricción o facilidad para desplazamiento de elementos de la biota fue el mismo que el seguido para establecer los núcleos prioritarios de hábitat.

3.6 Modelación de redes de conectividad estructural

Para modelar las rutas de conectividad estructural ecológica más cortas entre los núcleos priorizados se utilizó el programa ArcView GIS 3.3, y sus extensiones *Cost Distance* y *Cost Path*. El escenario principal consideró núcleos definidos con área de hábitat interior calculada con una distancia de borde de 50 metros. Se definieron dos escenarios adicionales, con fines de contraste (escenarios 2 y 3, ver punto anterior).

Después de realizar una edición de las redes para eliminar segmentos paralelos en un rango de 50 metros, se establecieron zonas de amortiguamiento de 100 m a cada lado de las tres rutas modeladas, a fin de determinar cuáles categorías de uso actual de la tierra atraviesan con mayor frecuencia y en qué magnitud. Se determinó también la proporción respectiva en los valores de fricción establecidos en el paso 3.5 **Error! Reference source not found.** Finalmente, se identificaron los sectores prioritarios para la conservación.

4 Resultados y discusión

4.1 Caracterización del paisaje

Descripción general. La categoría de uso predominante en el área es pastizal con árboles y arbustos (24%), seguida de pastizal (22%) y acahual arbustivo (18%). El porcentaje de cobertura boscosa es 13%; pero sólo 4% si se excluyen los manglares. En cuanto a cobertura vegetal susceptible de protección, los fragmentos de bosques templados (pino, pino – encino y mesófilo) son casi inexistentes en ambas zonas de la cuenca, así como los fragmentos de selva mediana subperennifolia en la cuenca baja. En cuanto a la cobertura vegetal de interés para restauración (sucesión secundaria), la abundancia de acahuales arbóreos y arbustivos es mayor en la cuenca alta, mientras que la cuenca baja contiene la absoluta mayoría de pastizales con o sin árboles. Casi toda la cobertura correspondiente a actividades agrícolas está en la cuenca baja (Cuadro 5).

Cuadro 5. Superficie (km²) por categoría para los sectores de la zona de estudio.

categorías de uso del suelo	sub categorías de uso del suelo		área		cuenca alta	cuenca m-baja
			km ²	(%)		
vegetación natural	zonal	bosque de encino	0.03	≤ 1	0.03	-
		bosque de pino-encino	0.03	≤ 1	0.03	-
		bosque mesófilo	2.07	≤ 1	2.07	-
		selva mediana subperennifolia	9.89	3	9.45	0.44
	azonal	selva inundable	0.15	≤ 1	-	0.15
		vegetación riparia	2.74	≤ 1	0.11	2.63
		mangle blanco	3.51	≤ 1	-	3.51
		mangle rojo	24.97	8	-	24.97
		tular	6.60	2	-	6.60
vegetación perturbada	acahual	arbóreo	15.15	5	11.56	3.59
		arbustivo	60.25	18	32.25	28.00
		arbustivo con aluvión	1.05	≤ 1	-	1.05
		herbáceo	14.12	4	5.70	8.42
actividades agropecuarias	pastizal	con árboles o arbustos	80.57	24	14.26	66.31
		pastizal	71.60	22	5.72	65.88
		inundable	2.66	≤ 1	-	2.66
		con aluvión	0.32	≤ 1	-	0.32
	agricultura	de temporal	10.59	3	0.72	9.87
		cultivo permanente (+ frutales)	4.50	≤ 1	-	4.50
		huerto (+ árboles)	0.52	≤ 1	-	0.52
		cafetal	0.19	≤ 1	0.16	0.03
cobertura no vegetal		cuerpo de agua	8.70	3	-	8.70
		aluvión	7.28	2	1.85	5.43
		playa	2.20	≤ 1	-	2.20
		deslave	0.03	≤ 1	0.03	-
		poblado	2.90	≤ 1	0.04	2.86
TOTAL			332.36	100	83.96	248.40

Índices de fragmentación. El área, número y densidad de fragmentos de bosque, así como el índice de fragmento mayor (Cuadro 6), dan una primera imagen del grado de fuerte fragmentación en ambos sectores de la cuenca. La cuenca alta tuvo mayor densidad por unidad de área que la cuenca media - baja, lo cual indicó una mayor continuidad en este sector. En ambos sectores el área promedio de fragmentos de cobertura natural fue una séptima parte del área total, y el índice de fragmento mayor comprendió sólo entre 2 y 8% del paisaje en la clase vegetación natural. Tanto el mayor número de fragmentos de la clase otras coberturas como el menos índice de fragmento mayor de dicha clase en la cuenca media - baja, indican que este

paisaje es más heterogéneo que el de la cuenca alta. De acuerdo a la clasificación de paisajes según su grado de alteración elaborada por McIntyre y Hobbs (1999), ambos son paisajes fragmentados, lo cual implica una baja conectividad del hábitat natural remanente.

Cuadro 6. Valores de índices de área, densidad y tamaño de los fragmentos a nivel de paisaje por clases de fragmentos.

paisaje	clases de fragmentos	Área total		número de fragmentos	densidad frag. (n / km ²)	índice de frag. mayor (%)
		(km ²)	(%)			
cuenca alta	vegetación natural	11.68	13.9	54	0.64	2.35
	otras coberturas	72.27	86.1	8	0.08	82.09
cuenca media - baja	vegetación natural	38.31	15.4	65	0.26	8.10
	otras coberturas	210.36	84.6	48	0.21	77.26

Para evaluar la complejidad de la forma de los fragmentos de vegetación natural, se calculó su índice de forma y tamaño de área núcleo. En el Cuadro 7 se observa que los fragmentos en ambos paisajes de la cuenca tienen formas irregulares (cuanto más se alejan de un valor igual a 1, estas tienden a ser menos regulares). En cuanto al área interior, se observa que en el paisaje de la cuenca media - baja se encuentra la mayor cantidad de fragmentos de tamaño considerable - reflejando las amplias áreas remanentes de tulares y manglares-, lo que hace posible que tengan mayores áreas interiores. Si se excluyen dichas áreas, en la CRC, como es típico de los paisajes con desarrollo intensivo (Bennett 1999), los hábitat lineales y pequeños fragmentos con elevadas proporciones en los bordes con frecuencia constituyen la mayor parte de los hábitat naturales remanentes.

Cuadro 7. Valores de índices de forma y área núcleo a nivel de paisaje de fragmentos de vegetación natural.

paisaje	índice de forma (promedio ± desviación estándar)	área núcleo			
		Borde: 100 m		Borde: 50 m	
		km ²	% del área de vegetación natural	km ²	% del área de vegetación natural
cuenca alta	2.15 ± 0.89	1.72	14.73	4.83	41.35
cuenca media - baja	2.36 ± 1.12	19.64	51.26	26.47	69.09

Para evaluar el grado en el cual los fragmentos de vegetación natural están relativamente próximos (o aislados) y agregados entre sí, se calcularon el índice de proximidad y la distancia euclídeana al vecino más cercano, así como índices de agregación y contagio. Es notable que todos los índices muestren una posibilidad de conectividad mucho mayor en la cuenca alta, por la tendencia de los fragmentos a estar más cerca uno de otros y agregados. Del mismo cuadro se observa que el porcentaje de adyacencia es muy alto en los dos estratos, por lo que corrobora el índice anterior con fragmentos agregados (en parte siguiendo el curso de cuerpos de agua), pero no necesariamente conectados.

Cuadro 8. Valores de índices de proximidad y agregación espacial a nivel de paisaje de fragmentos de vegetación natural.

paisaje	índice proximidad (promedio ± desviación estándar)	Distancia euclídeana a vecino más próximo (m) (promedio ± desviación estándar)	Índice de conectancia	Índice de agregación (%)	Índice de adyacencias similares
cuenca alta	75.46 ± 300.76	155.63 ± 153.23	0.28	95.73	95.69
cuenca media - baja	4,216.68 ± 10,955.90	221.84 ± 331.04	1.30	97.73	97.72

4.2 Análisis de la conectividad estructural ecológica

Se muestran las redes de conexión de tres escenarios: el escenario 1, con núcleos definidos considerando un área interior a partir de 50 metros del borde y niveles de fricción siguiendo los pesos asignados por el grupo de expertos (Gráfico 1), y escenario 2, que considera 100 metros de efecto de borde, y también los niveles de fricción siguiendo los pesos asignados por el grupo de expertos (Gráfico 2) y el escenario 3, que considera los núcleos del escenario 1 y una capa de fricción alternativa que otorga a todos los factores el mismo peso (Gráfico 3).

El escenario 1 contó con 89 núcleos de prioridades muy alta a media (1 a 3) mayores de 5 hectáreas, mientras que el escenario 2 contó con 78. De acuerdo al área que ocupan las redes de estos escenarios en diferentes categorías de uso del suelo (Cuadro 9) y a los Gráficos 1, 2 y 3, la ruta del escenario 2 es ligeramente menor (aproximadamente 5%) que las rutas de los escenarios 1 y 3. Esto se debe a que cuenta con un menor número de núcleos o nodos (78, en vez de los 89 de los escenarios 1 y 3).

La trayectoria de la ruta del escenario 3, por la diferente ponderación de los factores de fricción, difiere ligeramente de las de los escenarios 1 y 2, pero en general todas se aproximan a la trayectoria de los cursos de agua.

La diferencia entre los porcentajes de área de categoría de uso ocupadas por las redes de los tres escenarios no es tan relevante como las diferencias en las proporciones de áreas ocupadas en los diferentes niveles de fricción (Cuadro 10). Al respecto, se observa que las ponderaciones utilizadas como base de la capa de fricción del escenario 3, definen un ámbito con mayor proporción del nivel de fricción 2.

Cuadro 9. Área que ocupan los escenarios en las diferentes categorías de uso del suelo, considerando un buffer de 100 m a cada lado de la línea de la red.

categoría de uso	escenario 1		escenario 2		escenario 3	
	área (km ²)	área (%)	área (km ²)	área (%)	área (km ²)	área (%)
bosque de pino-encino	1.65	0.04	1.65	0.04	1.65	0.04
bosque mesófilo	77.20	1.95	75.50	2.01	73.59	1.82
selva mediana subperennifolia	440.61	11.13	410.03	10.89	461.86	11.43
selva inundable	12.16	0.31	12.16	0.32	6.66	0.16
vegetación riparia	176.56	4.46	175.15	4.65	162.49	4.02
mangle blanco	19.44	0.49	16.86	0.45	20.02	0.50
mangle rojo	250.65	6.33	250.47	6.65	246.76	6.11
tular	236.94	5.98	217.77	5.79	223.61	5.53
acahual arbóreo	189.51	4.79	171.57	4.56	225.21	5.57
acahual arbustivo	919.76	23.22	909.13	24.16	965.42	23.89
acahual arbustivo con aluvión	26.61	0.67	15.94	0.42	18.87	0.47
acahual herbáceo	111.68	2.82	105.77	2.81	109.27	2.70
pastizal con árboles o arbustos	711.97	17.98	685.58	18.22	773.05	19.13
pastizal	355.69	8.98	339.27	9.01	348.92	8.63
pastizal inundable	84.31	2.13	40.14	1.07	72.17	1.79
agricultura de temporal	80.40	2.03	80.40	2.14	51.35	1.27
cultivo permanente	22.12	0.56	20.04	0.53	31.44	0.78
caféetal con sombra	0.14	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00
cuerpo de agua	94.47	2.39	93.18	2.48	76.24	1.89
aluvión	146.67	3.70	141.13	3.75	169.30	4.19
poblado	1.90	0.05	1.90	0.05	3.96	0.10
TOTAL	3 960.44	100.0	3 763.64	100.0	4041.88	100.0

Gráfico 1. Red de conectividad estructural ecológica, cuenca del río Coapa, primer escenario.

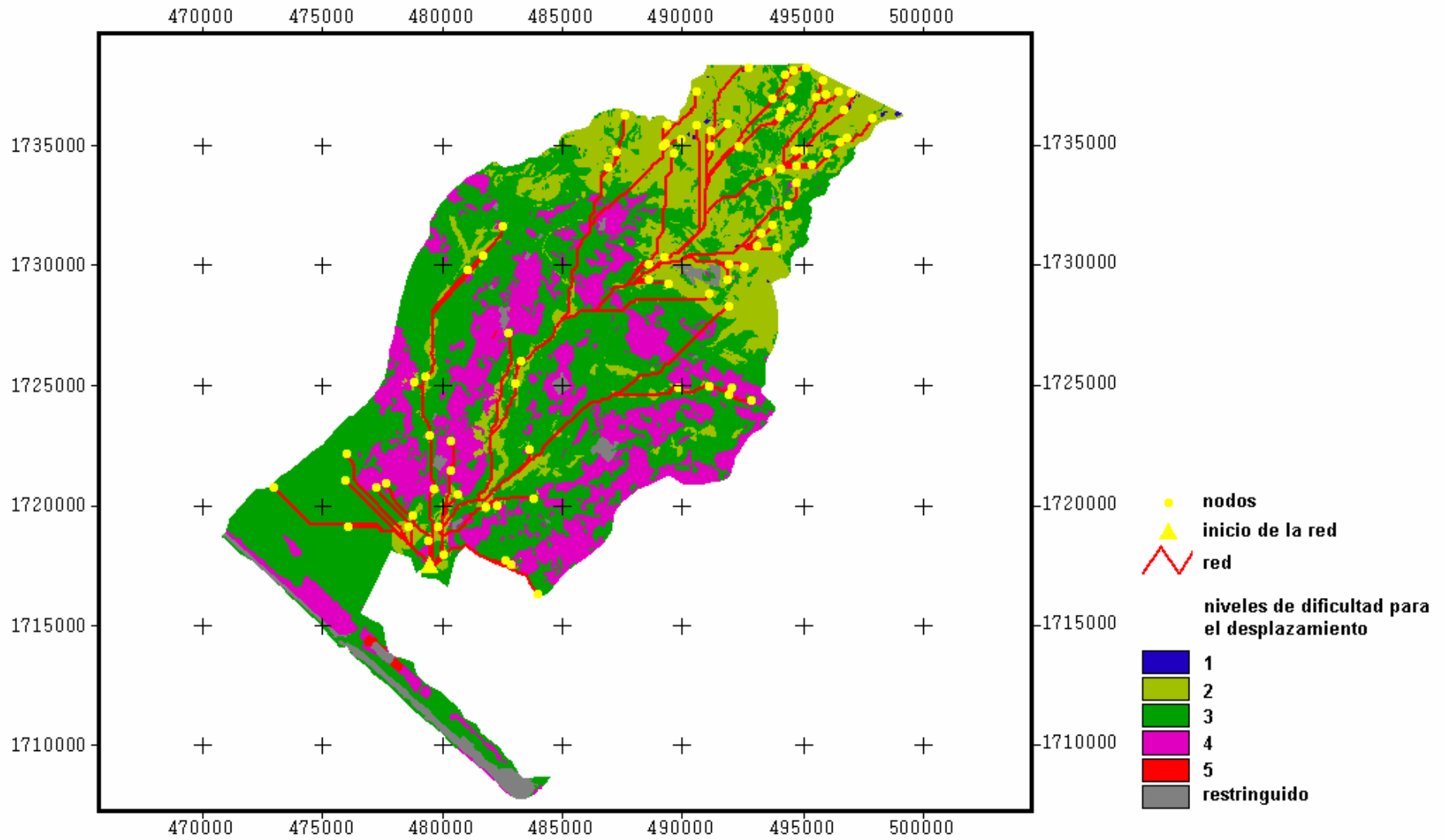


Gráfico 2. Red de conectividad estructural ecológica, cuenca del río Coapa, segundo escenario.

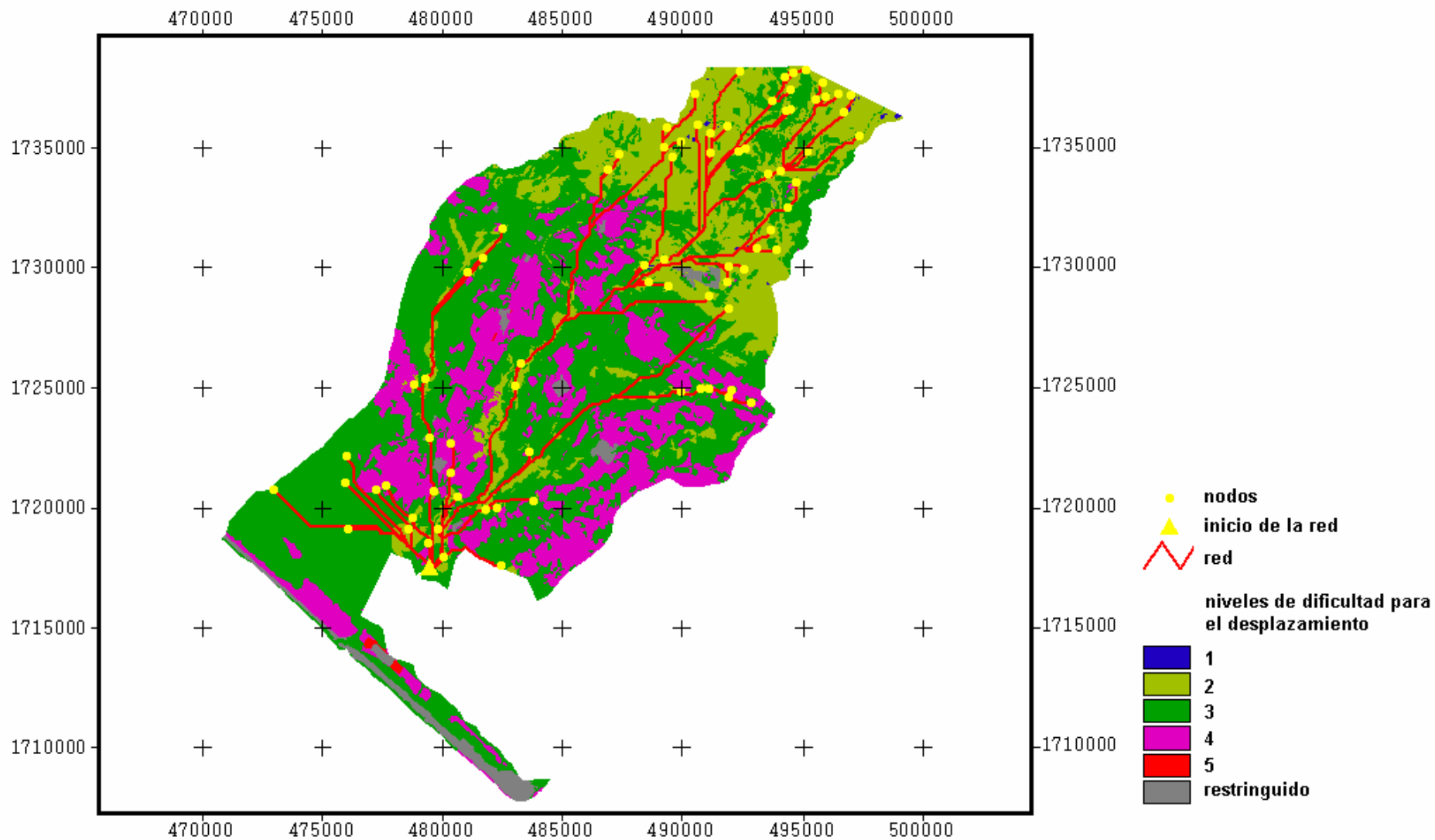
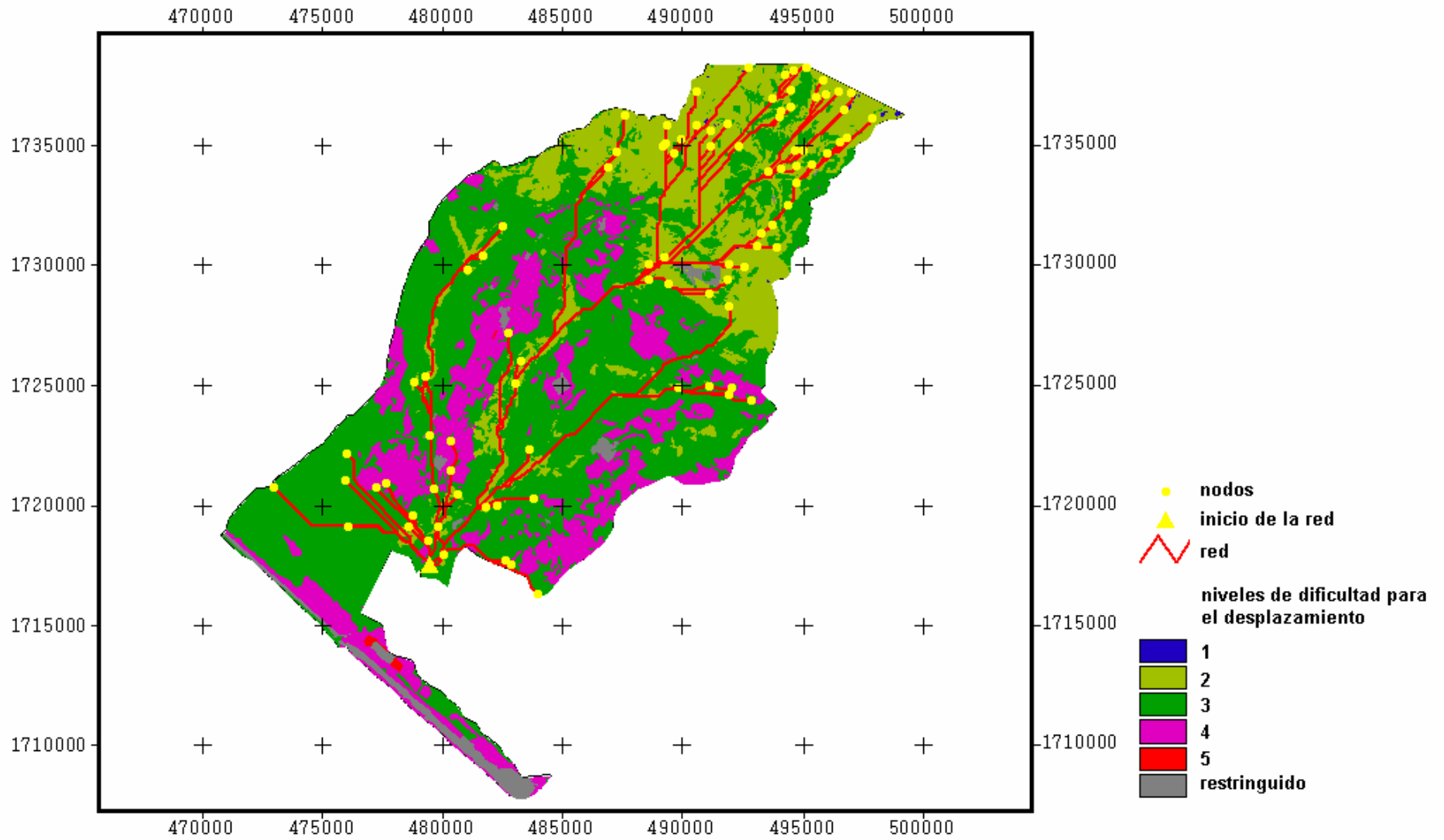


Gráfico 3. Red de conectividad estructural ecológica, cuenca del río Coapa, tercer escenario.



Cuadro 10. Área que ocupan las redes en los escenarios 1, 2 y 3 en los valores de fricción, considerando un buffer de 100 m a cada lado de la línea de la red.

fricción	escenario 1		escenario 2		escenario 3	
	área (km ²)	área (%)	área (km ²)	área (%)	área (km ²)	área (%)
1	86.28	2.18	72.70	1.93	31.14	0.77
2	1 642.73	41.48	1 585.80	42.13	2265.99	56.06
3	1 973.49	49.93	1 877.01	49.87	1564.28	38.70
4	254.50	6.43	224.69	5.97	167.42	4.14
5	0.34	0.01	0.34	0.01	0.00	-
restringido	3.10	0.08	3.10	0.08	13.05	0.32
TOTAL	3 960.44	100.00	3 763.64	100.00	4041.88	100.00

Cuadro 11. Área que ocupan la red de conectividad del escenario 1 en las diferentes categorías de uso del suelo, considerando un buffer de 100 m a cada lado de la línea de la red.

categoría de uso	cuenca alta		cuenca media - baja	
	área (km ²)	área (%)	área (km ²)	área (%)
bosque de pino-encino	1.65	0.11	-	-
bosque mesófilo	77.20	4.99	-	-
selva mediana subperennifolia	410.02	26.51	30.59	1.27
selva inundable	-	-	12.16	0.50
vegetación riparia	3.76	0.24	172.80	7.16
mangle blanco	-	-	19.44	0.81
mangle rojo	-	-	250.65	10.38
tular	-	-	236.94	9.82
acahual arbóreo	160.23	10.36	29.28	1.21
acahual arbustivo	603.71	39.03	316.05	13.09
acahual arbustivo con aluvión	-	-	26.61	1.10
acahual herbáceo	46.74	3.02	64.94	2.69
pastizal con árboles o arbustos	172.08	11.12	539.89	22.37
pastizal	29.86	1.93	325.83	13.50
pastizal inundable	-	-	84.31	3.49
agricultura de temporal	0.17	0.01	80.23	3.32
cultivo permanente	-	-	22.12	0.92
cafetal con sombra	0.14	0.01	-	-
cuerpo de agua	-	-	94.47	3.91
aluvión	41.30	2.67	105.37	4.37
poblado	-	-	1.90	0.08
TOTAL	1546.86	100.00	2413.58	100.00

Para el escenario 1, en el sector de cuenca alta, las categorías de uso que ocupan la mayor proporción de la franja de conectividad son las de acahual arbustivo (39.03%), selva mediana subperennifolia (26.51%), y pastizal con árboles o arbustos (11%); es decir, las mismas categorías que ocupan respectivamente la mayor proporción del territorio total de este sector de la cuenca. En el sector de cuenca media - baja, la cobertura de pastizal de árboles con arbustos ocupa el primer lugar (22.37%), seguida en proporciones casi iguales por pastizal (13.50) y acahual arbustivo (13.09), y por mangle blanco (10.38%) y vegetación riparia (7.16%) (Cuadro 11). Estas categorías también ocupan la mayor proporción del territorio total de este sector de la cuenca, otras categorías con abundante representación en el territorio total pero con ponderación baja en el modelo de fricción (por ejemplo, agricultura de temporal, o acahual herbáceo) están poco representadas en la franja de conectividad.

En resumen, salvando las pequeñas diferencias en las rutas resultantes de los tres escenarios, se aprecian claramente tres rutas principales de conectividad, que convergen la zona de tulares adyacente a la Reserva de la Biosfera La Encrucijada. La primera ruta conecta relictos de

vegetación riparia y de selva inundable a través de zonas de pastizales con árboles y arbustos, sigue aproximadamente la trayectoria del río Caña Brava y transcurre sólo por la cuenca media baja. La segunda ruta - la más extensa y compleja, sigue aproximadamente la trayectoria del río Coapa, enlazando los bosques remanentes de la cuenca alta - principalmente bosque mesófilo y selva mediana subperennifolia - y vegetación riparia a través en la cuenca media baja, a través de acahuals arbustivos, pastizales con árboles y arbustos. La tercera ruta sigue aproximadamente la trayectoria del río La Vaca, conectando fragmentos de vegetación riparia a través de pastizales sin cobertura arbórea en su mayoría.

Considerando los diferentes escenarios, se definieron sectores prioritarios comunes para la conservación de la biodiversidad o proyectos de restauración (Gráfico 4):

Ruta río Caña Brava: Siguiendo la ruta de norte a sur, hay un sector entre los tres primeros nodos y los dos subsiguientes de 4 km cubierto casi exclusivamente de pastizales con árboles y arbustos, con un grado de fricción 3. En general, el aislamiento y forma alargada de los fragmentos de vegetación riparia y de selva inundable los hace muy susceptibles a los efectos de borde (Sector 1).

Ruta río Coapa: La mayor parte de la ruta atraviesa sectores de fricción 2 en la cuenca alta, donde hay varios núcleos que permiten una red compleja de conectividad. Sin embargo, en la transición entre la cuenca alta y la media baja, hay una extensa zona sin nodos de conectividad, de aproximadamente 9.5 km (Sector 2, en el ramal oeste) y de 7.5 km (Sector 3, en el ramal este). En la cuenca media hay sólo cuatro nodos, y después hay otra vez una distancia grande (más de 8 km) sin nodos hasta llegar a la conexión con la Reserva de la Biosfera La Encrucijada (Sector 4). La mayor parte de estos sectores de la ruta con pocos nodos se encuentra sobre un grado de fricción 3.

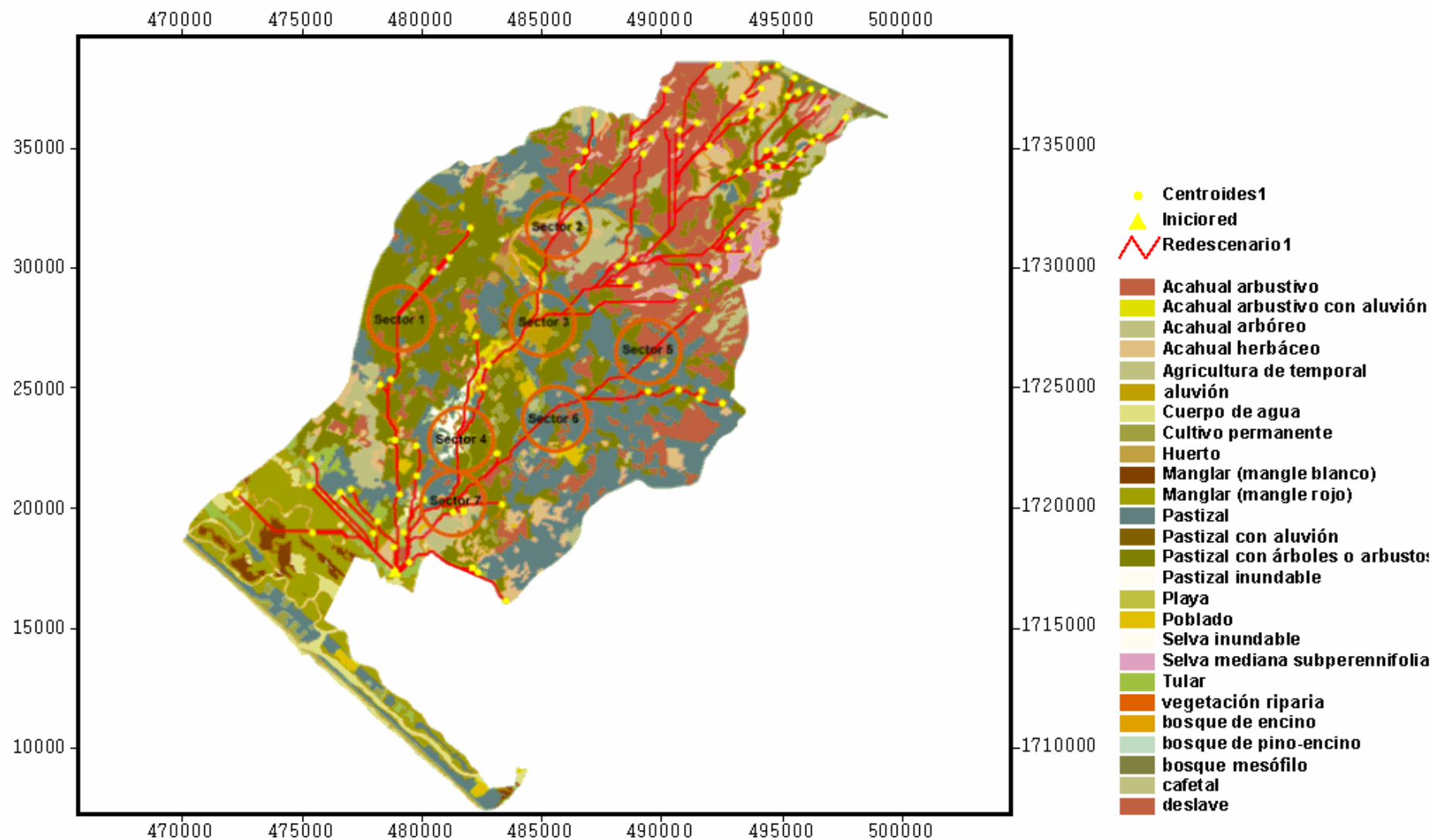
Ruta río La Vaca: Siguiendo también la ruta de norte a sur, se aprecia que el nodo más al norte está extremadamente aislado, transcurriendo aproximadamente 10 km hasta que encuentra. Considerando el punto de encuentro de los dos ramales del extremo norte de esta ruta, podemos definir dos sectores prioritarios (Sectores 5 y 6) y uno en el último tramo (Sector 7). Esta ruta atraviesa zonas de hasta cuarto grado de fricción.

5 Conclusiones y recomendaciones

La información fuente, según las visitas realizadas a campo, refleja con una alta fidelidad las condiciones de la cuenca del río Coapa. El paisaje se encuentra fragmentado con una alta división de la cobertura de vegetación natural, tanto en la cuenca alta, como en la cuenca media baja; la matriz que rodea a los fragmentos de vegetación natural es menos favorable a la conectividad en este último sector de la cuenca, pues es donde se concentra la mayor densidad de población y donde hay mayor presencia de actividades agropecuarias. Las condiciones topográficas y ambientales de este sector favorezcan el asentamiento humano y las diversas alternativas de uso de la tierra.

Este documento provee una visión a escala de la cuenca del estado de la conectividad estructural ecológica y señala los principales sectores críticos para la conectividad (ver punto anterior y Gráfico 4). En este sentido, es recomendable la selección de predios para realizar actividades de conservación y restauración en estos sectores, utilizando información socioeconómica, como la que sustenta el estudio realizado por Ocampo (2006). También será importante el uso de criterios a escala de sitio, tanto socioeconómicos como ambientales (ver Anexo D) para la selección de los predios y las prácticas o estrategias particulares de restauración y conservación.

Gráfico 4. Sectores críticos para la conectividad estructural ecológica, cuenca del río Coapa.



Los factores que definen los escenarios, así como su ponderación relativa, podrán ser revisados y afinados según se cuente con mayor información de calidad para la cuenca del río Coapa. Considerar en esta actividad la participación de un grupo mayor de expertos y actores locales será siempre de utilidad, tanto para la definición de escenarios, como para fortalecer la discusión de los procesos de la cuenca y la toma de decisiones para el manejo de los recursos.

Agradecimientos: La autora agradece a todos los expertos que participaron en el taller de consulta, especialmente a Stephen Zylstra por sus sugerencias técnicas y Manuel Morales por su apoyo al desarrollo del trabajo, así como a Christian Brenes, geógrafo del laboratorio de SIG del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y Luis Guillermo Molina por su invaluable colaboración en la realización de este trabajo.

6 Literatura citada

Barrett, GW; Bohlen, PJ. 1991. Landscape ecology. In Hudson, WE. Landscape linkages and biodiversity. Washington, DC. Island Press. pp. 149-161.

Baudry, J; Burel, F; Aviron, S; Martin, M; Ouin, A; Pain, G; Thenail, C. 2003. Temporal variability of connectivity in agricultural landscapes: Do farming activities help?" *Landscape Ecology* 18(3): 303-314.

Beier, P; Noss, RF. 1998. Do habitat corridors provide connectivity? *Conservation Biology* 12(6): 1241-12.

Bennett, AF. 1999. Linkages in the landscape. The role of corridors and connectivity in wildlife conservation. Gland, Suiza, Cambridge, UK. IUCN. 254 p.

Bierregaard Jr, RO; Laurance, WF; Gascon, C; Benitez-Malvido, J; Fearnside, PM; Fonseca, CR; Ganade, G; Malcolm, JR; Martins, MB; Mori, S; Oliveira, M; Rankin-de Merona, J; Scariot, A; Spironello, WR; Williamson, B. 2001. Principles of forest fragmentation and conservation in the Amazon. In Bierregaard, Jr., RO; Gascon, C; Lovejoy, TE; Mesquita, RCG. (ed.), *Lessons from Amazonia: The ecology and conservation of a fragmented forest*. New Haven, Connecticut: Yale University Press. pp. 371-385.

Céspedes, MV. 2006. Diseño de una red ecológica de conservación entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas del Área de Conservación Osa, Cosa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 121 p.

Finegan, B; Palacios, W; Zamora, N; Delgado, D. 2001. Ecosystem-Level Forest Biodiversity and Sustainability Assessments for Forest Management. In Raison, RJ; Brown, AG; Flinn, DW. *Criteria and indicators for Sustainable Forest Management*. CABI Publishing / IUFRO. Viena, Austria. pp. 341-378.

Flamenco, AF; Valencia, E; Díaz, DM; Méndez, D; Navarrete, DA; Llanes, JC; Wissenberger, H; Ramos, R; López, JH. 2006. Carta digital de cobertura del terreno a detalle de la cuenca del río Coapa, Pijijiapan, Chiapas. Informe Final. ECOSUR.

Hector, TS; Carr, MH; Zwick, PD. 2000. Identifying a Linked Reserve System Using a Regional Landscape Approach: The Florida Ecological Network. *Conservation Biology* 14(4): 984-1000.

- ISDEMAC (Instituto para el Desarrollo Sustentable en Mesoamérica, AC). 2002. Ordenamiento ecológico del territorio para la microcuenca del río Coapa, municipio de Pijijiapan, Chiapas. DFID – SERMANAT – CONANP. 101 p.
- McGarigal, K; Marks, B. 1995. Fragstats: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure. Oregon State University, EU. 122 p.
- McGarigal, K; Marks, B; Ene, E; Holmes, C. 2002. Fragstats: Spatial pattern analysis program for categorical maps. Software program designed to compute a wide variety of landscape metrics for categorical map patterns.
<http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.
- McIntyre, S; Hobbs, R. 1999. A framework for conceptualizing human effects on landscapes and its relevance to management and research models. *Conservation Biology* 13(6): 1282-1292.
- Murrieta, E. 2006. Caracterización de cobertura vegetal y propuesta de una red de conectividad ecológica en el Corredor Biológico Volcánica Central - Talamanca. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 125 p.
- Ocampo, M. 2006. Estrategia para la conservación de corredores forestales en la cuenca del río Coapa a través de mecanismos de conservación de tierras privadas. Pronatura Chiapas A.C. y The Nature Conservancy. 44 p. y mapas.
- Ramos, ZS. 2004. Estructura y composición de un paisaje boscoso fragmentado: Herramienta para el diseño de estrategias de conservación de la biodiversidad. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 114 p.
- The Nature Conservancy (TNC). 2000. Esquema de las cinco S para la conservación de sitios: Manual de planificación para la conservación de sitios y la medición del éxito en conservación. 2 ed. TNC, US. 59 p.
- Tischendorf, L; Fahrig, L. 2000. On the usage and measurement of landscape connectivity. *Illumina* 90 (1): 7-19.
- Vázquez Velásquez, JA. sf. Informe acerca de la estructura y composición florística de la vegetación riparia en dos zonas estratégicas de la cuenca media del río Coapa, Pijijiapan, Chiapas, México. Informe de avance de tesis. Sin publicar.

Anexo A. Términos de referencia

Diseño de una red de conectividad en la cuenca del río Coapa, Pijijapan, Chiapas.

Centro de Costos 1715237812-9

1. INTRODUCCIÓN.

La reversión de procesos de deterioro ambiental generados por actividades productivas (agrícolas y ganaderas, entre otras) es un reto complicado, que debe involucrar a los propietarios de las tierras y a usuarios de los recursos naturales. La ganadería es la actividad que ha generado el mayor deterioro en los ecosistemas naturales en la costa de Chiapas (Bosques Secos del pacífico y Bosques húmedos de la Sierra Madre). Si deseamos disminuir el avance de la ganadería o en el mejor de los casos una recuperación de los bosques, es necesario hacer partícipes a los rancheros.

Este gremio de productores se ha caracterizado por ser reacios al cambio de los esquemas productivos que ellos conocen y aplican, en ese sentido, los sistemas de manejo silvopastoril son un medio propicio para mejorar estos agroecosistemas y, en un futuro, recuperar los bosques, ya que por un lado, no pierden productividad (que sería el principal factor de rechazo por parte del ganadero) y mejoran las condiciones ambientales, al diversificar los pastizales con elementos arbóreos, que también aprovecha el ganado.

Estos modelos de diversificación productiva se han estado ejecutando en algunas comunidades en la cuenca del Río Coapa, por ello no es raro encontrarse con cercos vivos con plantas forrajeras u otras que potencialmente puedan ser maderables. Estos modelos pueden favorecer la conectividad estructural en el paisaje - definiendo conectividad como el grado en el cual los elementos del paisaje facilitan el movimiento de organismos entre diferentes fragmentos de hábitat.

Este proceso ya iniciado, podría potenciarse, si se identifican sitios estratégicos donde es necesario centrar esfuerzos para lograr una adecuada red de conectividad, y ya con ello, convenir con los productores en que sitios es prioritario implementar actividades silvopastoriles o de restauración de riberas.

Esta consultoría permitirá contribuir a la actividad TNC 4.2.2 *“Report on the study of the Project impact on at least one key indicator”* del trabajo de LWA del año fiscal 2007.

2. OBJETIVO DE LA CONSULTORIA

El estudio propuesto tiene como objetivo identificar fragmentos prioritarios de comunidades vegetales y de rutas de conectividad, como parte de un enfoque de conservación a escala de paisaje de los servicios ambientales en la cuenca del río Coapa. De esta manera, contribuirá al desarrollo de la propuesta del corredor biológico Coapa, que forma parte del plan de gestión de la cuenca del mismo nombre, una experiencia piloto del plan de conservación de las cuencas costeras de Chiapas.

3. ANTECEDENTES.

Dos estrategias importantes y complementarias de conservación de la diversidad biológica y de los procesos ecológicos que generan los servicios ambientales consisten en, por un lado, mantener muestras representativas de comunidades vegetales naturales, generalmente a través de áreas protegidas; y por otro, mantener la conectividad entre estas comunidades, permitiendo la dispersión de plantas y animales y por ende, el intercambio de genes para mantener su viabilidad y la colonización de sitios adecuados, usualmente a través de corredores biológicos (Beier y Noss 1998, Barrett y Bohlen 1991, Rosemberg et al. 1997, García 2002).

La conectividad estructural entre los diferentes tipos de hábitat de un paisaje está definida por su distribución espacial, estando entre los factores más influyentes el tamaño de las brechas entre hábitat y el gradiente entre los mismos. Es decir, cuanto más lejanos estén los fragmentos de bosque uno de otro y mayor contraste haya entre estos y el hábitat que los rodea (por ejemplo, el contraste entre un bosque y una plantación forestal es menor que el que existe entre un bosque y un pastizal). Al menos para el factor de distancia, se ha propuesto una serie de índices cuantitativos (p. ej. medidas de los sistemas de circuitos, tamaño de las mallas, dimensión de las superficies subdivididas) (Bennett 1999) y gráficos que nos permiten apreciar más claramente el aumento o disminución de conectividad en un paisaje, según avancen ciertos procesos o se implementen ciertas estrategias.

El análisis de la conectividad estructural utilizando como base información de uso del suelo y de áreas ecológicamente importantes, mediante SIG permite desarrollar modelos de apoyo a la toma de decisiones, como lo ilustran los casos desarrollados en Florida (Hector y colaboradores 1999) y en bosques húmedos montanos y de bajura de Costa Rica (Murrieta 2006 y Ramos 2004 respectivamente). En estos casos, se empleó información de cobertura de comunidades vegetales y uso del suelo, para identificar áreas de prioridad ecológica y potenciales conexiones ecológicas, haciendo operativas las propuestas de conectividad contenidas en estudios preliminares a nivel nacional.

De lo anterior se desprende que es posible el diseño de una red de conectividad estructural ecológica utilizando mapas detallados de cobertura vegetal y de uso del suelo, y la caracterización básica de las comunidades vegetales, para lo cual puede ser suficiente el uso de la información relativa a las especies comunes o dominantes (Finegan et al. 2001).

En el caso concreto de la cuenca del río Coapa (aprox. 40,000 ha), Flamenco y colaboradores (2006) realizaron una caracterización detallada del mapa de cobertura vegetal de la cuenca del río Coapa, distinguiendo doce formaciones vegetales naturales (once boscosas y una de monocotiledóneas acuáticas), áreas de vegetación perturbada por actividades agropecuarias o incendios, áreas con predominio de actividades agrícolas y otras áreas con cobertura no vegetal, a escalas de 1:25,000 y 1:5,000. Esta información, complementada con la información secundaria de las formaciones vegetales naturales, será el punto de partida para el diseño de una red de conectividad ecológica entre las reservas de la biosfera El Triunfo y La Encrucijada, permitiendo priorizar zonas para diferentes tipos de inversión y manejo así como probables estudios posteriores para las formaciones vegetales naturales que así lo requieran. La información será complementada, asimismo, con una consulta a expertos para la asignación de valores de prioridad.

4. OBJETIVO

Identificar fragmentos prioritarios de formaciones vegetales y proponer rutas o redes de conectividad, como parte de un enfoque de conservación a escala de paisaje de los servicios ambientales en la cuenca del río Coapa.

5. PRODUCTOS

El consultor entregará dos productos:

Una memoria de Taller. Con la finalidad de socializar el tema de conectividad entre las instituciones locales de la Costa de Chiapas y por otro lado, concensuar la asignación de valores de prioridad a los fragmentos de vegetación, el consultor convocará, preparará información necesaria e impartirá un taller de no más de un día con actores claves del proyecto LWA. Los gastos de logística (sitio, papelería) serán cubiertos por el consultor. Mientras que los gastos de hospedaje, alimentación y traslado serán cubiertos por los asistentes. El taller se efectuará antes del 31 de mayo de 2007 y al término del mismo, el consultor entregará la memoria del evento, el cual incluirá el material proporcionado a los asistentes, lista de asistencia y material fotográfico.

Un documento final con la red de conectividad. Entregar un documento que identifique fragmentos prioritarios de formaciones vegetales y una red de conectividad, que contribuyan a la conservación en una escala de paisaje para la cuenca del río Coapa, en el municipio de Pijijapan, en la Costa de Chiapas.

El documento deberá contener:

- Patrón del paisaje. Definición de área y distribución espacial de los fragmentos.
- Características de los fragmentos. Complejidad (relación área – perímetro), área de borde y área interior de los fragmentos individuales, así como métricas de aislamiento / proximidad y agregación espacial.
- Capas de información seleccionadas para el análisis de conectividad (a priori para las formaciones vegetales boscosas: pendientes, distancia a caminos, área interior de bosque y tipos de bosque) y niveles de prioridad asignados a sus diferentes elementos.
- Núcleos a conectar identificados.
- Ruta(s) o red(es) de conectividad estructural modelada(s).

Como anexo al documento final, se entregará un mapa impreso escala 1:50,000, con la información relativa a la capa red de conectividad identificada, así como el archivo en formatos de shapefile, que pueda ser usada en sistemas de información geográfica (SIG) y en formato gráfico jpeg.

Requisitos de los Productos

La entrega del material o productos requiere el cumplimiento de dos reglas para incorporar la imagen institucional de USAID:

Logotipo de USAID. Los logotipos que se emplearán, así como los requerimientos para su uso, podrán ser consultados y descargados del sitio Web de USAID <http://www.usaid.gov/branding/>

El informe final y el mapa entregados deberán presentar el logotipo de USAID, el cual debe ser de igual tamaño a las demás organizaciones y deberá estar impresa en la etiqueta del CD.

Leyenda de Reconocimiento. En los productos finales entregados deberá aparecer la siguiente leyenda:

“Este informe ha sido posible gracias al apoyo del pueblo de los Estados Unidos de América a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). El contenido de esta publicación es responsabilidad de The Nature Conservancy y no refleja necesariamente el punto de vista de USAID o del Gobierno de los Estados Unidos de América.”

Este texto deberá estar localizado en la primera página interior, inmediatamente después de la portada donde aparezca el título del informe.

Se entregarán dos carpetas conteniendo los documentos y dos CD originales, debidamente etiquetados, conforme a las fechas establecidas en la tabla de productos y pagos.

El sitio de entrega de los documentos (borradores y finales) será en la oficina de TNC en Tuxtla Gutiérrez, con domicilio: Avenida Palma Areca # 119, Col. las Palmas, presentado a Manuel Morales, Coordinador Proyecto.

6. DURACIÓN Y PRESUPUESTO

La duración total del estudio se estima en no más de tres meses. El monto del contrato es por \$89,700.00 pesos (Ochenta y nueve mil setecientos pesos 00/100 m.n.). Debido a que el consultor proporcionará recibo de honorarios se retendrá el impuesto al valor agregado (IVA) y el impuesto sobre la renta (ISR). Conforme a la información siguiente:

Importe:	\$79,000.00
I.V.A.:	\$11,700.00
Subtotal:	\$89,700.00
I.S.R. retenido:	\$7,800.00
I.V.A. Retenido	\$7,800.00
TOTAL:	\$74,100.00

Este costo incluye la realización de los productos, la realización del taller, así como los viajes a la zona de trabajo, para realizar reconocimiento de campo.

7. TABLA DE PRODUCTOS Y PAGOS

Se efectuarán tres pagos, el primero por el 25% del total contra la firma del contrato, el segundo por el 35% contra la entrega de la memoria del taller de presentación de redes de conectividad y el tercero y último por el 40% contra la entrega y aceptación por escrito de los documentos finales. TNC no realizará reembolso alguno.

Objetivo	Producto(s)	Fecha de entrega	Pago(s)
Firmar el contrato entre las partes	Contrato firmado	15 de Mayo de 2007	Primer pago por el 25% del monto total Importe: \$19,500.00 I.V.A.: \$ 2,925.00 Subtotal: \$22,425.00 I.S.R. retenido: \$ 1,950.00 I.V.A. Retenido \$ 1,950.00 TOTAL: \$18,525.00
Realizar un taller de presentación de las redes de conectividad a organizaciones locales	Memoria del Taller	Antes del 31 de Mayo de 2007.	Segundo pago por 35% Importe: \$27,300.00 I.V.A.: \$ 4,095.00 Subtotal: \$31,395.00 I.S.R. retenido: \$ 2,730.00 I.V.A. Retenido \$ 2,730.00 TOTAL: \$25,935.00
Entrega de avances para identificar fragmentos prioritarios de formaciones vegetales y una red de conectividad, que contribuyan a la conservación en una escala de paisaje para la cuenca del río Coapa.	Borrador del documento con la identificación de formaciones vegetales para la conectividad y mapa impreso.	Antes del 11 de junio de 2007.	No hay pago
Identificar fragmentos prioritarios de formaciones vegetales y una red de conectividad, que contribuyan a la conservación en una escala de paisaje para la cuenca del río Coapa.	Documento final con las correcciones incorporadas sobre la identificación de formaciones vegetales para la conectividad y mapa impreso.	La fecha de entrega del documento final no podrá ser posterior al 22 de Junio de 2007	Pago por el 40% del monto total Importe: \$31,200.00 I.V.A.: \$ 4,680.00 Subtotal: \$35,880.00 I.S.R. retenido: \$ 3,120.00 I.V.A. Retenido \$ 3,120.00 TOTAL: \$29,640.00
Cerrar contrato	Oficio de cierre.	2 de Julio de 2007	No hay pago.

Anexo B. Descripción de los suelos de la cuenca del río Coapa, según ISDEMAC (2002).

Suelos predominantes en la sección alta: laderas de la vertiente occidental de la Sierra Madre de Chiapas

- **Litosoles.** Textura gruesa, muy someros, quizá inferiores a 10 cm de profundidad sobre el material parental. Poco aptos para las actividades agropecuarias. Fácilmente erosionables por los fuertes procesos de remoción en masa que se presentan en las laderas de la sierra y la falta de cobertura vegetal.
- **Luvisol crómico.** Textura fina, ricos en arcillas en el subsuelo, poco ácidos, de color rojo o amarillentos. Moderadamente fértiles. Se usan con fines agrícolas y tiene rendimientos moderados y altos, con pastizales cultivados o inducidos son buenos para la ganadería. Tienen alta susceptibilidad a la erosión por la misma actividad agropecuaria.

Suelos predominantes en la sección media y baja: planicie costera

- **Regosol eutríco.** Textura gruesa, limosos y poco profundos depositados sobre terrenos inestables en los que predominan los procesos de reptación y erosión. No presentan diferencias de estratos u horizontes, tienen tonos claros, con poca materia orgánica y fertilidad moderada. Frecuentemente se le utiliza con fines agrícolas por períodos cortos de tiempo, y una vez agotados, se les abandona la acción degradante del viento y de las lluvias. Susceptibles a la erosión.
- **Fluvisol eutríco.** Textura gruesa, originados por el acarreo de sedimentos de los ríos, de material disgregado y poco desarrollados, presentando capas alternadas de arena, arcilla o grava producto de su acarreo por inundación o crecidas no muy antiguas. Son someros y profundos en algunas partes, arenosos y arcillosos, fértiles, aptos para la ganadería con buenos rendimientos. Se localizan en las partes más bajas, los pie de montes y primordialmente en asociación con los valles fluviales. Tienen un contenido moderado de nutrimentos y una textura limo arcillosa lo cual los hace especialmente atractivos para el establecimiento de actividades agropecuarias con fuerte potencial productivo.
- **Gleysol eutríco.** Suelos fértiles que se localizan en zonas donde se acumula y estanca el agua, de color gris verdoso, con gran cantidad de salitre. La vegetación natural es generalmente de manglar. Pueden ser utilizados como pastizales, con rendimientos de moderados a altos, son poco susceptibles a la erosión.
- **Solanchak gléyico.** Con elevada salinidad, como es el caso del sistema lagunar de la cuenca, y parte baja, tiene poca permeabilidad ya que en su subsuelo tiene una capa en la que se estanca el agua de color gris y por efectos de intemperización al contacto con el aire se oxida y se mancha de color rojo.

Anexo C. Especies predominantes en los tipos de vegetación natural de la cuenca del río Coapa, según ISDEMAC (2002).

Tipos de vegetación	Géneros o especies predominantes	Familia
Bosque de encino ¹	<i>Quercus</i>	
Bosque de pino - encino ¹	<i>Quercus</i> <i>Pinus</i>	
Bosque mesófilo de montaña ²	<i>Saurauia</i> <i>Ilex</i> <i>Oreopanax</i> <i>Hediosmum</i> <i>Clethra matudae</i> Lundell <i>Pithecellobium arboreum</i> (L.) Urb. <i>Inga</i> <i>Olmediella betschleriana</i> (Göpp.) Loes. <i>Matudaea trinervia</i> Lundell <i>Nectandra</i> <i>Conostegia</i> <i>Cedrela</i> <i>Trophis</i> <i>Parathesis</i> <i>Eugenia siltepecana</i> Lundell <i>Osmanthus americana</i> (L.) Benth. & Hook. <i>Podocarpus matudae</i> Lundell <i>Rhamnus</i> <i>Prunus</i> <i>Chiranthodendron pentadactylon</i> Larreat. <i>Styrax</i>	Actinidiaceae Aquifoliaceae Araliaceae Chloranthaceae Clethraceae Fabaceae Fabaceae Flacourtiaceae Hamamelidaceae Lauraceae Melastomataceae Meliaceae Moraceae Myrsinaceae Myrtaceae Oleaceae Podocarpaceae Rhamnaceae Rosaceae Sterculiaceae Styracaceae
selva mediana subperennifolia ²	<i>Roseodendron donnell-smithii</i> (Rose) Miranda <i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn. <i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg. <i>Licania arborea</i> Seem. <i>Hymenaea courbaril</i> L. <i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb. <i>Cedrela mexicana</i> M. Roem. <i>Brosimum alicastrum</i> Sw. <i>Ficus</i>	Bignoniaceae Bombacaceae Burseraceae Chrysobalanaceae Fabaceae Fabaceae Meliaceae Moraceae Moraceae
selva inundable ¹	<i>Pachira aquatica</i> Aubl.	Bombacaceae
vegetación riparia ³	<i>Acacia</i> <i>Eritrina</i> <i>Gliricidia sepium</i> <i>Inga</i> <i>Heliocarpus</i> <i>Trema</i>	Fabaceae Fabaceae Fabaceae Fabaceae Tiliaceae Ulmaceae
mangle rojo ¹	<i>Rhizophora mangle</i> L.	Rhizophoraceae
mangle blanco ¹	<i>Laguncularia racemosa</i> (L.) C.F. Gaertn.	Combretaceae
tular ¹	plantas acuáticas monocotiledóneas	

Fuentes: ¹ Flamenco et ál. (2006); ² ISDEMAC (2002), ³ Vázquez (sf). Los nombres provistos en las fuentes han sido corregidos o completados mediante consulta a la base de datos W3TROPICOS del Jardín Botánico de Missouri (disponible en: <http://mobot.mobot.org/W3T/Search/vast.html>)

Anexo D. Criterios para la selección de áreas de conservación y restauración en la cuenca del río Coapa (adaptado de Zylstra, comunicación personal)

Sectores de la cuenca	Criterios biofísicos			Criterios sociales o relacionados al uso del sitio
	Fisiografía	Suelos	Ubicación relacionada a los cursos de agua	
Cuenca alta - desde las nacientes hasta el puente de la carretera principal)	<ul style="list-style-type: none"> • Pendiente acentuada (≥ 25 grados) con suelos erodibles 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Reducción de la carga de sedimentos (basado en análisis de erodibilidad).</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Ubicación a 100 metros o menos de distancia del río o de cursos de agua secundarios. 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Opción para excluir vacas usando cercas u otros medios.</i>
Cuenca media - desde el Puente de la carretera principal hasta Salto de Agua	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Área de deposición (según fotos aéreas de inundaciones previas).</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja productividad para pastos (suelos arenosos) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Reconexión de planicie inundable y cursos de agua con el río Coapa.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Aumento de la protección contra inundaciones para casas / comunidades.</i>
Cuenca baja - desde Salto de Agua hasta los manglares	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Área de deposición (según fotos aéreas de inundaciones previas).</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja productividad para pastos (suelos húmedos la mayor parte del año). 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Reconexión de planicie inundable y cursos de agua con el río Coapa (p. ejemplo, cursos de agua secundarios y humedales en las pasturas).</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Aumento de la protección contra inundaciones para casas / comunidades.</i>

No se dispone información cartográfica de aquellos criterios en *cursivas*