

**PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA
CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO**

**Diseño de una red ecológica de conservación entre la Reserva de
Biosfera La Amistad y las áreas protegidas del Área de
Conservación Osa, Costa Rica**

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza como requisito para optar por el grado de:

Magister Scientiae en Manejo y Conservación de bosques Tropicales y biodiversidad

Por

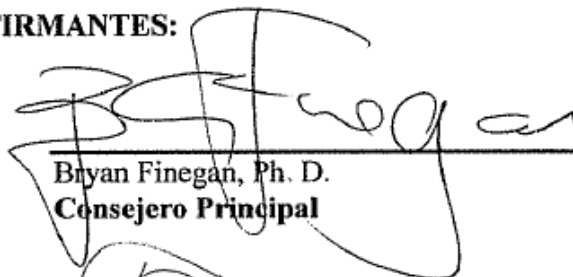
Margarita Victoria Céspedes Agüero

Turrialba, Costa Rica, 2006


Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE, y aprobada por el Comité Consejero del estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

Magister Scientiae en Manejo y Conservación de bosques tropicales y biodiversidad

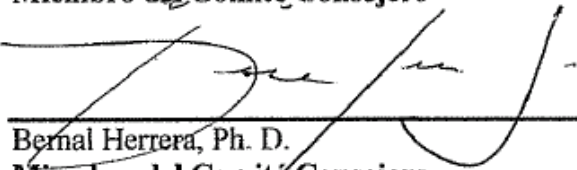
FIRMANTES:



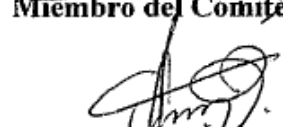
Bryan Finegan, Ph. D.
Consejero Principal



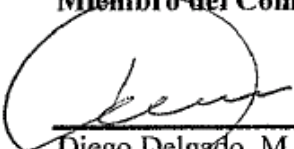
José Joaquín Campos, Ph. D.
Miembro del Comité Consejero



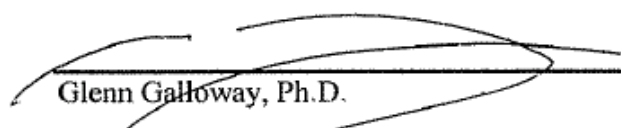
Bernal Herrera, Ph. D.
Miembro del Comité Consejero



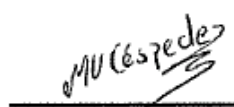
Sergio Velásquez, M.Sc.
Miembro del Comité Consejero



Diego Delgado, M.Sc.
Miembro del Comité Consejero



Glenn Galloway, Ph.D.
Decano de la Escuela de Posgrado



Margarita Victoria Céspedes Agüero
Candidata

DEDICATORIA

A Dios

Por la fortaleza que me da para seguir adelante cada día, y a quien ruego me de la humildad para reconocer cuanto me falta por andar y hasta donde puedo llegar.

A mi familia

A mi adorado hijo Manuel, mi alegría, y mi esposo Raúl, compañero de mi vida. Por compartir mis sueños, apoyarme a desarrollarlos y convertirlos en logros, por estar conmigo en las buenas y las malas, y el amor ilimitado que me dan.

A mi padre y mi madre, quienes siempre me dieron lo mejor de sí, apoyaron mis decisiones y confiaron en mí. Aunque mi padre ahora esta en el cielo, siempre esta en mi, con su ejemplo como magnífico ser humano, que inspiró en mi el camino a seguir.

A mi hermana Rosa y mi sobrino Rodrigo, por su apoyo y su gran amor.

A toda mi familia porque siempre estuvieron motivando mi superación y colaborando con sus palabras de aliento.

A mi gran familia peruana

En especial a Fernando y Marilú, quienes me abrieron la puerta de su hogar y me hicieron sentir parte de su familia, gracias por su aliento, su apoyo, sus consejos y su valiosa amistad.

A todos mis paisanos peruanos por conformar esa gran familia, por su solidaridad y amistad que me hizo sentir en casa durante los dos años que estuve en Costa Rica.

A la gente de Costa Rica

A las personas que viven el campo en contacto con la naturaleza, a la linda gente de Turrialba por su amabilidad y alegría características que me inspiraron optimismo día a día.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento sincero a las siguientes personas y organizaciones:

Al CATIE, por el financiamiento de mis estudios de maestría, en especial al Dr. Pedro Ferreira por la confianza depositada en mí, que me motivó a dejar mi país y lograr esta meta.

A *The Nature Conservancy* (TNC) por los recursos aportados a la presente investigación.

Al Dr. Bryan Finegan, mi asesor principal, por su confianza en mi trabajo, sus valiosos aportes, apoyo y orientación recibidos durante el desarrollo de esta investigación.

A los miembros de mi comité asesor. A Diego Delgado, por su contribución en cada etapa de este proyecto, en especial por escucharme y con sus acertadas sugerencias ayudarme a forjar este trabajo y por su invaluable amistad. A Sergio Velásquez, por sus valiosos aportes en la formulación y desarrollo de esta investigación, sus oportunas recomendaciones que me permitieron avanzar en cada etapa y por su paciencia para absolver cada consulta. A los Doctores Bernal Herrera y José Joaquín Campos, por sus valiosos comentarios y sugerencias que me permitieron enriquecer este trabajo.

A Steven Sesnie y Jan Scheeper por su valiosa contribución a esta investigación.

A Christian Brenes, por la calidad en el trabajo, por compartir conmigo sus conocimientos en Sistemas de Información Geográfica y Sensores remotos, por su paciencia y su amistad.

Al Lic. Gustavo López por brindarme su valioso tiempo y apoyo en los análisis estadísticos.

A los profesores del CATIE por sus valiosas enseñanzas y a todo el personal del CATIE por las atenciones y apoyo brindadas durante los dos años de convivencia y servicio.

A la gente del SINAC, INBio, OET, FONAFIFO, a Rodolfo Méndez, Carlos Morera, Carlos Sevilla y a todas las demás personas e instituciones que contribuyeron con esta tesis en forma personal y/o institucional, por demostrar su más alto sentido de colaboración compartiendo conmigo su información, y aportando su experiencia y conocimientos para el desarrollo de esta investigación.

A Solanhe Bonilla y Rosita Jara, por sus palabras de aliento, su calor humano y su valiosa amistad.

A mis compañer@s de la promoción 2005-2006, los amigos de las otras promociones y al grupo de esposas, por su apoyo y amistad durante los dos años en CATIE.

“En la emoción que acompaña todo agradecimiento verdadero ya es evidente cuanto uno valora lo recibido; nos hace sentirnos más ricos, y despierta el deseo de devolver amor y atención”.

Khalil Gibran en “El profeta”

BIOGRAFÍA

La autora nació en la ciudad de Lima, Perú, el 10 de Octubre 1972. Estudió en la facultad de Ciencias forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina, graduándose como bachiller en Ingeniería Forestal en el año 1994. En el año 1996 siguió una especialización en Finanzas en agronegocios y en el año 1997 obtuvo el título de Ingeniero forestal.

La mayor parte de su trayectoria profesional ha trabajado en el área de manejo y conservación de recursos naturales en localidades rurales dentro y fuera de áreas naturales protegidas en el Perú. Inició su experiencia profesional en el año 1994, como Jefe de Unidad forestal para el Ministerio de agricultura, en la Selva Sur del Perú, en la localidad de Puerto Maldonado, Madre de Dios. Entre los años 1997 y el 2001, trabajó para el Programa Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas, como especialista en manejo de recursos naturales y encargada del área de promoción y capacitación, en la provincia de Yauyos, en la sierra de Lima. En dos oportunidades, trabajó en el Instituto Nacional de Recursos Naturales – INRENA como especialista en áreas naturales protegidas, en el año 1996 en la ciudad de Lima, como coordinadora de la Zona Reservada Tambopata-Candamo y la Zona Reservada Pantanos de Villa, y entre los años 2002 al 2004 en la ciudad de Tumbes, teniendo como ámbito de trabajo la Reserva de Biosfera del Noroeste.

En el año 2005 ingresó a la Escuela de Posgrado en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), en la maestría de Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad donde estudió y alcanzó el grado de *Magíster Scientiae* en el año 2006.

CONTENIDO

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
BIOGRAFÍA	V
CONTENIDO	VI
RESUMEN	IX
SUMMARY	XI
ÍNDICE DE CUADROS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
Lista de Anexos	XVII
LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS	XIX
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos del estudio	4
1.3.1 Objetivo general	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
2 MARCO CONCEPTUAL	5
2.1 Impactos de la pérdida de hábitat en la biodiversidad regional y el paisaje	5
2.2 Planificación sistemática para la conservación	6
2.2.1 Conceptos básicos	7
2.2.1.1 Áreas y redes funcionales para la conservación	7
2.2.2 Corredores biológicos	9
2.2.2.1 Antecedentes	9
2.2.2.2 La función biológica en el diseño de los corredores	11
2.2.2.3 Redes de conectividad	11
2.2.2.3.1 Núcleos prioritarios para la conservación	13
2.2.2.3.2 La matriz	15

2.2.2.4	Principales factores que afectan la conectividad y el cambio de uso de la tierra.....	16
2.3	Herramientas de análisis	17
2.3.1	<i>Análisis multicriterio y sistemas de información geográfica para el diseño de rutas de conectividad.....</i>	17
2.3.1.1	Análisis multicriterio	18
2.3.1.2	Los sistemas de información geográfica.....	19
2.3.2	<i>El análisis multitemporal y los sensores remotos.....</i>	19
2.3.3	<i>Los modelos de transición de uso de la tierra.....</i>	21
3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
3.1	Descripción del área de estudio	23
3.2	Metodología.....	25
3.2.1	<i>Etapas I: Diseño de la red de conectividad biológica estructural inicial.....</i>	27
3.2.1.1	Generalidades.....	27
3.2.1.2	Identificación y priorización de criterios y variables.....	28
3.2.1.3	Áreas protegidas y núcleos de hábitat prioritarios a conectar.....	30
3.2.1.4	Priorización de las unidades de paisaje presentes en el área de estudio de acuerdo a su valor para la conectividad estructural	34
3.2.1.5	Modelación de la red de conectividad biológica.....	37
3.2.2	<i>Etapas 2: Dinámica del uso de la tierra en el área de influencia de las redes de conectividad biológica estructural diseñadas</i>	39
3.2.2.1	Generalidades.....	39
3.2.2.2	Clasificación en usos de la tierra de las imágenes satelitales	40
a)	Información base.....	40
b)	Preprocesamiento de las imágenes satelitales.....	42
c)	Clasificación digital de las imágenes satelitales.....	43
d)	Posclasificación	48
3.2.2.3	Análisis multitemporal.....	48
3.2.2.3.1	Cambios en la estructura del paisaje	48
3.2.2.3.2	Cambios por categoría de uso de la tierra	49
3.2.2.3.3	Modelación de las probabilidades de cambio de uso de la tierra.....	50

3.2.2.3.4	Consideraciones para el análisis de la matriz de cambios	51
3.2.3	<i>Etapa 3: Diseño de la red de conectividad biológica estructural más estable</i>	54
3.2.3.1	Delimitación del área de estudio en esta etapa	54
3.2.3.2	Estimación de la estabilidad del sistema en las rutas alternativas	57
3.2.3.3	Factores que inciden en la estabilidad de las redes de conectividad estructural.....	58
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
4.1	Etapa 1: Diseño de la red de conectividad biológica estructural inicial	61
4.1.1	<i>Objetivos de la red</i>	61
4.1.2	<i>Áreas protegidas y núcleos de hábitat prioritarios a conectar</i>	62
4.1.3	<i>Priorización de las unidades de paisaje presentes en el área de estudio de acuerdo a su valor para la conectividad estructural</i>	67
4.1.4	<i>Modelación de la red de conectividad biológica</i>	69
4.2	Etapa 2: Dinámica del cambio de uso de la tierra en los escenarios de rutas de conectividad planteados	78
4.2.1	<i>Composición y estructura del paisaje en el periodo 1987 a 2003 en el área de estudio</i>	78
4.2.2	<i>Análisis multitemporal de los cambios de uso del suelo y los factores que los han influenciado</i>	86
4.2.3	<i>Modelación de la probabilidad de cambio y sus implicaciones para la conectividad</i>	93
4.3	Etapa 3: Diseño de la red funcional para la conectividad más estable en el tiempo	97
4.3.1	<i>Identificación de la red de conectividad con un área de influencia más estable</i>	97
4.3.2	<i>Conformación y caracterización de la red ecológica de conservación más estable para la conectividad</i>	103
4.3.3	<i>Factores asociados a la estabilidad ante el cambio de uso de la tierra en la red de conectividad diseñada</i>	106
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110
6	BIBLIOGRAFÍA	114

Céspedes Agüero, 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, Costa Rica. 121 p.

Palabras claves: ecología del paisaje, fragmentación, corredores biológicos, diseño de red ecológica, conectividad estructural, costo-distancia, análisis multitemporal, cambios de usos de la tierra, Área de Conservación Osa y Área de conservación La Amistad Pacífico.

RESUMEN

Las metodologías para el diseño de corredores biológicos y redes de conectividad en paisajes fragmentados han evolucionado con el desarrollo de herramientas tecnológicas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y sensores remotos, así como con la comprensión de los factores que a escala regional influyen la conectividad a nivel espacial y temporal. En la presente investigación se elaboró una propuesta de red ecológica de conservación entre la Reserva de Biosfera La Amistad (RBLA) y el Área de Conservación Osa, con un enfoque de mayor estabilidad en la conectividad estructural.

La investigación partió por la selección de las redes que conectaban los sitios de interés sobre un área de 444.437 ha. En el diseño de las rutas iniciales de conectividad se aplicó la metodología de la ruta del menor costo entre núcleos de hábitat priorizados a través de un análisis multicriterio espacial que tomó en cuenta la calidad de hábitat y las amenazas antrópicas. Se identificaron criterios para seleccionar la ruta de conectividad más estable a través de los cambios en la estructura del paisaje y las transiciones entre usos de la tierra en un período de 16 años. Los escenarios temporales de uso de la tierra, clasificados usando imágenes Landsat, fueron 1987, 1997 y 2003, y se estimaron sus transiciones por medio de matrices de Markov para los periodos 1987-1997, 1997-2003 y 1987-2003. La red seleccionada fue delimitada y dividida con criterio de cuenca en unidades de análisis, que permitieron definir rutas alternas. La mejor ruta identificada fue aquella que tuvo la menor probabilidad de cambio de “bosque” a “pastos y cultivos”.

Como resultado final se delimitó una red ecológica para la conservación que potencialmente conecta a la RBLA y las áreas protegidas de ACOSA, sobre el 14,7 % del área original. Esta

red conecta seis áreas protegidas y quedó conformada por 34.479 ha de bosque en parches mayores a 1.000 ha, y 30.986 ha de paisaje compuesto por un mosaico de siete otros usos de la tierra. Se identificó como un sector crítico para la consolidación de la red a las áreas ubicadas sobre el Río Coto Brus, por su bajo porcentaje de cobertura natural y su alta inestabilidad en el tiempo. Esta propuesta basada en criterios biofísicos representa una aproximación de filtro grueso como aporte para la planificación a escala regional de un corredor biológico altitudinal entre la Cordillera de Talamanca y la Península de Osa, que en una siguiente etapa debe ser complementada por aspectos sociales, económicos y de gestión que no fueron contemplados en esta investigación. Asimismo, se necesita realizar más estudios para identificar cuales son los grupos de especies que estarían desplazándose en el corredor propuesto. Finalmente, es importante remarcar que el diseño de corredores biológicos es un proceso iterativo que será mejorado con la generación de nueva información.

Céspedes Agüero, MV. 2006. Design of an ecological network of conservation between La Amistad Biosphere Reserve and the protected areas of the Area of Conservation Osa, Costa Rica. 121 p.

Key words: landscape ecology, fragmentation, biological corridors, design of ecological networks, structural connectivity, cost-distance, multitemporary analysis, land-use changes, Area of Conservation Osa y Area of Conservation La Amistad Pacífico.

SUMMARY

Methodologies for the design of biological corridors and connectivity networks in fragmented landscapes have evolved with the development of technological tools like Geographic Information System (GIS) and remote sensing, as well as understanding of the factors that influence connectivity spatially and temporally at the landscape and regional scales. In this study a proposal for an ecological conservation network was developed for the area between La Amistad Biosphere Reserve and the Osa Conservation Area (ACOSA), Costa Rica, with an approach seeking greater stability over time of structural connectivity.

The investigation started with the selection of a network that connected the sites of interest, encompassing an area of 444,437 ha. In the design of the initial connectivity paths the least cost-path methodology was applied to connect core habitat prioritized through spatial multi-criteria analysis. The criteria for selection of core habitat emphasised habitat quality and threats from human activity. In order to select connectivity pathways with the lowest probability of land use change, criteria were identified through the historical analysis of changes in the structure of the landscape and the transitions between land uses over a 16-year period. The temporal sequence of land-uses classified using Landsat covered the years 1987, 1997 and 2003. Transitions were estimated by Markov matrices using the 1987-1997, 1997-2003 and 1987-2003 time periods. The selected connectivity network was delimited and divided in analysis units according to watersheds, enabling the identification of alternate routes. The best route was the one that have the least probability of change from “forest” to “pastures and crops”.

The final result was an ecological conservation network that potentially connects La Amistad Biosphere Reserve and the protected areas of ACOSA, representing 14.7% of the original

study area. This network connects six protected areas and was composed of 34,479 ha of forest in patches bigger than 1,000 ha, and 30,986 ha of landscape made up of a mosaic of seven other land uses. A critical sector for the consolidation of the network was located on the River Coto Brus, due to its small natural cover and its high instability over time. This proposal based on biophysical criteria represents a coarse filter approach that contributes to planning on a regional scale for the altitudinal biological corridor between the Talamanca Mountains and the Osa Peninsula. The next step in the planning of the corridor must consider social, economic and management aspects that were not contemplated in this analysis. Also, more studies are needed to identify the groups of species that would be moving in the proposed corridor. Finally, it is important to note that corridor design is an iterative process that will be improved with the generation of new information.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Principales críticas a los corredores biológicos.	10
Cuadro 2.	Diferencias principales entre los objetivos de los corredores.	10
Cuadro 3.	Áreas protegidas en el ámbito delimitado para la propuesta de red de conectividad.	23
Cuadro 4.	Corredores biológicos propuestos en las Áreas de Conservación Osa (ACOSA) y La Amistad Pacífico (ACLA-P).	26
Cuadro 5.	Criterios y variables usados para la identificación de los núcleos de hábitat prioritarios.	32
Cuadro 6.	Criterios utilizados para establecer la dificultad al desplazamiento.	35
Cuadro 7.	Dificultad al desplazamiento para calcular el mapa de superficie de costos.	39
Cuadro 8.	Información básica de los escenarios analizados para la estimación del cambio de uso de la tierra.	41
Cuadro 9.	Categorías de uso y cobertura de la tierra establecidas.	47
Cuadro 10.	Ubicación y superficie de las unidades de análisis conformadas con criterio de cuenca con base en los segmentos de red que componen la Alternativa 1.	55
Cuadro 11.	VARIABLES INDEPENDIENTES CON INFLUENCIA PROBABLE EN EL CAMBIO DE USO DE LA TIERRA DE BOSQUE A PASTOS.	59
Cuadro 12.	Prioridad de las áreas interiores de las coberturas naturales en el área de estudio.	64
Cuadro 13.	Características de las variables utilizadas en el ámbito de los núcleos prioritarios para la conectividad.	65
Cuadro 14.	Representación en el Sistema de Áreas protegidas de Costa Rica, número y tamaño de los parches de coberturas naturales por macrotipos de vegetación en los núcleos prioritarios para la conservación identificados en esta investigación	66
Cuadro 15.	Distribución del área de estudio por niveles de fricción al desplazamiento.	67
Cuadro 16.	Usos de la tierra en las trayectorias que recorren las redes de conectividad trazadas entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA, considerando un buffer de 100 m a cada lado de la línea de la red.	71
Cuadro 17.	Estadísticas de los ramales de la red de conectividad con valores logarítmicos.	74

Cuadro 18.	Áreas protegidas y corredores biológicos conectados por los ramales de la red de conectividad estructural inicial entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA.....	78
Cuadro 19.	Usos de la tierra entre la Reserva de Biosfera de La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA, en los años 1987, 1997 y 2003, clasificados con base en Imágenes Landsat.....	79
Cuadro 20.	Métricas de los parches a nivel de paisaje en los tres escenarios temporales en el área de estudio.	81
Cuadro 21.	Estadísticas del tamaño de los parches por tipo de uso de la tierra en los tres escenarios estudiados.	83
Cuadro 22.	Factores mencionados por los actores locales de ACLA-P y ACOSA, como los que más han influenciado los cambios de uso de la tierra en el período de estudio.	87
Cuadro 23.	Tipo de vegetación afectada por incendios forestales en el Área de Conservación La Amistad Pacífico. Período 1998-2003.....	89
Cuadro 24.	Matrices de probabilidades Markovianas de transición entre usos de la tierra en el ámbito entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA, para los períodos: a) 1987-2003; b) 1997-2003 y c) 1987-1997.	94
Cuadro 25.	Usos de la tierra en el ámbito del área de influencia de la Alternativa 1, en los años 1987, 1997 y 2003.....	98
Cuadro 26.	Usos de la tierra por unidad de análisis en el área de influencia de la Alternativa de red de conectividad 1 entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de la Península de Osa, en los años 1987, 1997 y 2003.	99
Cuadro 27.	Probabilidad de estabilidad por períodos de las alternativas de ruta de conectividad principal entre ACLA-P y ACOSA.....	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación y principales características del área de estudio para el diseño de la red ecológica de conservación entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas del Área de Conservación Osa.	24
Figura 2.	Esquema metodológico seguido en el desarrollo de esta investigación.	27
Figura 3.	Metodología seguida para establecer los criterios y variables usados para el diseño de la red de conectividad.	29
Figura 4.	Modelo utilizado para la identificación de los núcleos de hábitat prioritarios.	33
Figura 5.	Modelo utilizado para establecer la dificultad al desplazamiento en cada unidad de área en la matriz.	37
Figura 6.	Procedimiento seguido para la clasificación de las imágenes satelitales Landsat.	44
Figura 7.	Clasificación de la matriz de cambios de uso de la tierra. La diagonal de la matriz indica la estabilidad del sistema, el color verde los cambios positivos, el rojo los negativos, el amarillo los considerados neutros, el celeste los que son improbables y en gris aquellos que no fueron considerados en el estudio.	52
Figura 8.	Ubicación de las unidades de análisis conformadas con criterio de cuenca con base en los segmentos de red que componen la Alternativa de conectividad 1....	56
Figura 9.	Áreas protegidas y núcleos de hábitat prioritarios para la conservación entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA.	63
Figura 10.	Mapa de fricción al desplazamiento de las especies silvestres entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA.	68
Figura 11.	Redes de conectividad entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA: a) modelo con valores originales de dificultad al desplazamiento, b) modelo con transformación logarítmica, c) acercamiento del modelo con valores originales y d) acercamiento del modelo con valores logarítmicos.	70
Figura 12.	Frecuencias relativas de usos de la tierra, en las trayectorias que recorren las redes de conectividad con valores originales (barras en color gris) vs. logarítmicos (barras en color blanco), trazadas entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA.	73

Figura 13. Ramales de la red de conectividad estructural entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA.	76
Figura 14. Parches de bosques mayores a 1.000 ha y usos de la tierra entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas del Área de Conservación Osa: año 1987, año 1997 y año 2003.....	85
Figura 15. Factores que más han influenciado los cambios en el uso de la tierra de acuerdo a la apreciación de los actores locales.	88
Figura 16. Cambios por categoría de uso del suelo por período considerando los escenarios de errores de clasificación: a)coberturas naturales y b) usos agrícolas (se omitieron los errores con fines de claridad del gráfico, Anexo 18).....	90
Figura 17. Diagrama de transiciones de categorías de uso de la tierra encontradas entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA entre 1987 y el 2003, la intensidad de la línea indica el grado del cambio.	93
Figura 18. Usos de la tierra en el año 2003 en el Tramo 2 del área de influencia de la alternativa de red de conectividad 1.	100
Figura 19. Ruta de conectividad más estable entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA.	102
Figura 20. Red ecológica de conservación para la conectividad de la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas del Área de Conservación Osa.....	104
Figura 21. Probabilidad de cambio de bosque a pastos por períodos y unidades de análisis.	107
Figura 22. Biplot de los dos primeros componentes principales de las variables biofísicas y socioeconómicas en las unidades de análisis que componen la Alternativa de conectividad 1 entre las áreas protegidas de la Península de Osa y la Reserva de Biosfera La Amistad Pacífico.	108
Figura 23. Matriz de probabilidades markovianas de transición (Anexos)	12

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1.	Lista de expertos que participaron en el proceso de consulta. _____	2
Anexo 2.	Datos técnicos originales de las variables utilizadas en el diseño de la red de conectividad estructural. _____	3
Anexo 3.	Prioridad y ponderación de las variables para identificar los núcleos prioritarios. _____	4
Anexo 4.	Recategorización de los ecosistemas del Proyecto Ecomapas en clases de uso de la tierra. _	5
Anexo 5.	Matriz de asignación del conflicto de uso _____	6
Anexo 6.	Prioridad y ponderación de los criterios para identificar la dificultad al desplazamiento en la matriz. _____	7
Anexo 7.	Datos técnicos de las imágenes satelitales utilizadas. _____	7
Anexo 8.	Análisis de varianza de la precisión en la clasificación de la imágenes Landsat 2003 producida por las diferentes combinaciones de información auxiliar. _____	8
Anexo 9.	Matriz de confusión de la clasificación en usos de la tierra de la imagen Landsat 2003. ____	9
Anexo 10.	Precisiones generales por categoría de uso de las clasificaciones realizadas _____	10
Anexo 11.	Metodología para calcular la matriz de Markov. _____	11
Anexo 12.	Comparación del método automático y manual para el cálculo de las matrices de transición Markovianas. _____	13
Anexo 13.	Pos procesamiento en el ámbito de la Alternativa 1 _____	14
Anexo 14.	Actores locales entrevistados sobre factores que influyen el cambio de uso de la tierra	15
Anexo 15.	Clave para macrotipos de vegetación de Costa Rica (Gómez y Herrera 1986) _____	16
Anexo 16.	Estadísticas de las distancias entre parches de coberturas naturales en la zona de amortiguamiento del modelo de red logarítmica _____	16
Anexo 17.	Estadísticas de las métricas de proximidad, contagio y dispersión de los parches por tipo de uso de la tierra en los tres escenarios estudiados. _____	17
Anexo 18.	Estimación de los cambios por categoría de uso de la tierra tomando en consideración los escenarios de errores de clasificación, para cada período analizado. _____	18
Anexo 19.	Estadísticas de las parcelas de café reportadas por el CATIE (2003) para el SIG del ICAFE en la zona de Coto Brus y Pérez Zeledon _____	19
Anexo 20.	Origen en el año 1987 de las coberturas existentes en el año 2003. _____	19
Anexo 21.	Origen en el año 1997 de las coberturas existentes en el año 2003. _____	20
Anexo 22.	Origen en el año 1987 de las coberturas existentes en el año 1997. _____	20
Anexo 23.	Usos de la tierra por unidades de análisis del área de influencia de la Alternativa de red de conectividad 1 entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA. _____	21

Anexo 24. Caracterización de las unidades de análisis en el área de influencia de la Alternativa de red de conectividad 1 entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA. ____ 23

LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS

AP:	Área protegida
ACOSA:	Área de Conservación Osa
ACLA-P:	Área de Conservación La Amistad Pacífico
RBLA:	Reserva de Biosfera La Amistad
PILA:	Parque Internacional La Amistad
CATIE :	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CBM :	Corredor Biológico Mesoamericano
FONAFIFO:	Fondo Nacional de Financiamiento Forestal
SINAC:	Sistema Nacional de Áreas de Conservación
INBio :	Instituto Nacional de Biodiversidad de Costa Rica
MED :	Modelo de Elevación Digital
SIG :	Sistema de Información Geográfica
msnm :	metros sobre el nivel del mar
MINAE :	Ministerio Nacional de Ambiente y Energía
ICE :	Instituto Costarricense de Electricidad
UMM:	Unidad mínima mapeable
PINDECO:	<i>Compañía Pineapple Development Company</i>
ITCR :	Instituto Tecnológico de Costa Rica
SDSS:	Sistema de soporte de decisiones a nivel espacial
CCT:	Centro Científico Tropical
OET:	Organización de Estudios Tropicales
MAG:	Ministerio de Agricultura
CRTM:	Costa Rica Transversal Mercator
ENVI:	<i>The Environment for Visualizing Images</i>
NDVI:	índice de vegetación
TCT:	<i>Tasseled Cap Transformation</i>
ROIs:	Regiones de interés
IDA:	Instituto de Desarrollo Agrario
GAP:	Análisis de vacíos de conservación
CBD:	Convención de Diversidad Biológica

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La pérdida del hábitat provocada por actividades humanas ha sido señalada como la causa principal de disminución de biodiversidad. Cuando la pérdida es parcial se denomina degradación, siendo el proceso de fragmentación una de las formas más comunes de degradación del hábitat que amenaza la persistencia de las especies (Primack et ál. 1998). El progresivo aislamiento de los fragmentos es considerado un factor determinante en la disminución de la diversidad de especies (Kattan 2002).

En Costa Rica la cobertura forestal se ha reducido aproximadamente en un 50 % durante la segunda mitad del siglo XX (Sanchez –Azofeifa 2000). El proceso de fragmentación ha pasado por varias etapas de acuerdo al grado de aceleración de la deforestación. Se estima que entre los años 40s y fines de los 80s se dieron las tasas más altas alcanzando hasta un 4 % anual. La creación del Ministerio del Ambiente y Energía (MINAE) en 1986, que instauró una serie de políticas forestales y de conservación, y la caída de los precios de la carne concuerdan con el descenso de las tasas de deforestación hasta el 0.25 % anual, en el período 1997 - 2000 (SINAC 1999, Calvo et ál. 1999, CCT et ál. 2002 y Sanchez-Azofeifa 2000).

Las causas principales de la pérdida de cobertura forestal fueron las políticas de desarrollo que subordinaron la presencia de los bosques a la colonización de tierras para la expansión agropecuaria, el abastecimiento de leña, madera y el desarrollo de infraestructura (SINAC 1999 y Jiménez 2005). En el período entre 1987 y el 2000, no obstante la recuperación de un 7,8% de cobertura a nivel nacional, el proceso de fragmentación siguió avanzando en algunos frentes, como la Península de Osa (Calvo et ál.1999 y CCT et ál 2002).

Las estrategias llevadas a cabo para revertir esta situación y conservar la biodiversidad han ido evolucionando conforme se ha incrementado el nivel de comprensión del funcionamiento de los sistemas ecológicos. Se ha entendido que a pesar que las áreas protegidas en Costa Rica alcanza un 25% de la superficie nacional (SINAC 1999), y se ha comprobado su efectividad para detener la deforestación en su interior (Sanchez-Azofeifa et ál. 2003), la conservación de la biodiversidad sigue amenazada por efectos del aislamiento en que se encuentran estas áreas (Miller et ál 2001).

Por estas razones, se reconoce la necesidad de que los sistemas ecológicos/ambientales terrestres y marinos se encuentren conectados en sistemas más amplios como una meta para el año 2015, en el

Plan de Acción de Durban (IUCN sf). Los corredores biológicos fueron creados para cumplir esta meta de conectar fragmentos de hábitat para facilitar el movimiento de organismos entre ellos (Kattan 2002). Además, los corredores biológicos han sido reconocidos como herramientas potenciales para la conservación de la biodiversidad a escala de paisaje (CBD 2003).

El Corredor Biológico Mesoamericano (CBM) es una de las propuestas de corredores más ambiciosas que busca mantener la conectividad ecológica entre América del Norte y América del Sur con el fin de preservar rutas de migración y el flujo genético a través del istmo centroamericano (Miller et ál. 2001). Uno de los principales objetivos de este corredor ha sido priorizar áreas para la inversión en iniciativas de desarrollo sostenible, desde el punto de vista de la conservación de la biodiversidad (McCarthy et ál. 1997).

La función de los corredores como estrategia de conservación ha sido discutida ampliamente (Bennett 1998). Como una propuesta a concretar su función ecológica se han desarrollado metodologías de diseño de redes de conectividad al interior de los corredores, tales como las redes diseñadas en los corredores biológicos San Juan La Selva y Volcánica Central - Talamanca (Ramos Bendaña y Finegan 2006 y Murrieta 2005). Estas propuestas se fundamentan en los conceptos de conectividad estructural y toman en cuenta los criterios calidad del hábitat y nivel de amenazas a la conectividad. El propósito del diseño de redes es definir áreas prioritarias para asegurar la conectividad entre áreas protegidas y remanentes de bosques para el mantenimiento a largo plazo de procesos ecológicos importantes para la biodiversidad (Hoctor 2000). El objetivo de identificar áreas prioritarias se basa en la necesidad de focalizar los recursos como punto de partida para las acciones de conservación (Ramos Bendaña y Finegan 2006).

1.2 Justificación

La investigación se realizó entre las áreas protegidas de la Península de Osa y la Reserva de Biosfera La Amistad (RBLA) en Costa Rica. La propuesta de una red de conectividad en este lugar se fundamenta en investigaciones anteriores donde se identifica esta zona como un área para refinar estudios para la creación de un corredor biológico entre la cordillera de Talamanca y la Península de Osa (Palmintieri et ál. 1999), con la finalidad de evitar el aislamiento de los ecosistemas presentes en ambos sitios de valor reconocido para la conservación (Calderón et ál. 2004).

La red de conectividad propuesta agrupa en principio a los ecosistemas presentes en diferentes niveles altitudinales desde el nivel del mar (Osa) hasta los 3300 msnm (RBLA), aspecto que toma

en cuenta el gradiente altitudinal como un criterio de diseño con relación a la vulnerabilidad de los ecosistemas al cambio climático (Guerrero 2004 y CBD 2003). La función de los corredores como medida de adaptación ante los efectos del cambio climático, sería la reducción de las demandas de dispersión de las especies (IPCC 2002). Demanda generada por la alteración de la distribución de los hábitat de muchas especies, debida a los cambios en la distribución de las temperaturas y precipitación esperados a raíz del cambio climático (Malcolm et ál. 2002 y Williams et ál. 2004).

Los sitios a conectar, la Península de Osa y la Reserva de Biosfera La Amistad, han sido destacados como sitios prioritarios para la conservación por The Nature Conservancy (TNC) en Costa Rica, a nivel de una estrategia de priorización que seleccionó 20 sitios a nivel de Centroamérica (Calderón et ál. 2004). Entre los aspectos más destacables a nivel biológico, Maldonado (1997) señala que en la Península de Osa y sectores adyacentes se encuentra el principal remanente de bosque lluvioso tropical en toda la vertiente del Pacífico de América Central. El Parque Internacional La Amistad (PILA) ubicado sobre la Cordillera de Talamanca, contiene el bosque lluvioso primario más extenso en Costa Rica; así como una importante proporción de la biodiversidad del país (Palmintieri et ál. 1999).

Entre los aspectos socioeconómicos tomados en cuenta, para la priorización del área de estudio están las presiones y amenazas que la afectan (Calderón et ál. 2004). Las principales fuentes de presión identificadas son las prácticas agrícolas no compatibles con la conservación y el desarrollo vial que inciden en la fragmentación de estos espacios (Carazo et ál. s.f., Rossero-Bixby et ál. 2002 y TNC s.f.). Otro criterio tomado en cuenta para la priorización de esta zona fue la presencia de socios potenciales para la conservación (Calderón et ál. 2004). Esta presencia se ve reflejada en los diferentes esfuerzos para la conservación que se han desarrollado en este ámbito (Áreas de Conservación de Osa y La Amistad Pacífico). Entre ellos, se encuentran la propuesta de 10 corredores biológicos (Chavarría 2005), e instituciones que favorecen el desarrollo de prácticas que contribuyen a la conservación en el ámbito de estudio (TNC 2004).

Este estudio se realizó dentro de los esfuerzos que The Nature Conservancy (TNC) y CATIE realizan para apoyar el manejo de redes funcionales de conectividad en los sitios considerados de alto valor para la conservación. La propuesta pretende complementar las iniciativas de corredores existentes en la zona con un enfoque a nivel de paisaje desde el punto de vista biofísico, que permita priorizar áreas para articular las iniciativas locales hacia el logro de una red de conectividad a nivel regional, identificando además las necesidades de protección y/o restauración de las mismas.

La metodología usada para el diseño de esta red ecológica de conservación se fundamentó en los criterios de planificación de costo-efectividad (Poiani et ál. 2000), priorizando aquellas áreas que tuvieran mayor tendencia a la estabilidad y por ende mayor aptitud para la conservación. Para ello, se adaptaron las metodologías del menor costo-distancia utilizadas en Costa Rica por Ramos Bendaña y Finegan (2006) y Murrieta (2005) para el diseño de redes de conectividad, que a su vez se basaron en el diseño de la red ecológica para la conectividad de la Florida (Hoctor 2000). Los elementos nuevos incorporados son el desarrollo de criterios para estimar las variaciones de la conectividad en función del análisis de la dinámica del uso de la tierra. La incorporación de este criterio se basa en la consideración que la tasa y la probabilidad de cambio de coberturas de la tierra son indicadores esenciales para evaluar la estabilidad de un ecosistema (Lambin et ál. 2000).

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo general

- Desarrollar una propuesta de red ecológica de conservación entre las áreas protegidas del Área de Conservación Osa y la Reserva de Biosfera La Amistad en Costa Rica, que integre en su diseño la estimación de la conectividad estructural y la influencia que los cambios temporales y espaciales en los usos de la tierra generan en ella, como aporte a la funcionalidad para la conservación a escala regional.

1.3.2 Objetivos específicos

- Desarrollar criterios para establecer el valor para la conectividad estructural de las diferentes unidades de paisaje, con base en una aproximación a la calidad de hábitat.
- Proponer escenarios iniciales de rutas de conectividad estructural entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas del Área de Conservación Osa.
- Estimar los cambios de uso de la tierra en el paisaje que atraviesan las rutas de conectividad estructural iniciales con la finalidad de establecer criterios para identificar la red de conectividad más estable en el tiempo.
- Diseñar una red ecológica de conservación recomendada con base en el análisis de la dinámica del uso de la tierra en el área de influencia de las rutas iniciales de conectividad.

2 MARCO CONCEPTUAL

2.1 Impactos de la pérdida de hábitat en la biodiversidad regional y el paisaje

La cobertura forestal del planeta ha disminuido por lo menos a un tercio de lo que era desde que se inició la agricultura, asimismo, sólo un 36% de la cobertura forestal son bosques primarios (FAO 2005). La tasa de deforestación actual alcanza los 13 millones de hectáreas al año, especialmente por conversión de bosques a tierras agrícolas (FAO 2005), no obstante, la pérdida neta de bosques ha disminuido en los últimos cinco años por la sucesión natural y las plantaciones forestales. La preocupación que genera esta pérdida se basa en que los ecosistemas de selvas tropicales lluviosos albergan más de la mitad de la riqueza mundial de especies de la tierra, en una extensión que abarcan entre el 6 y 7% de la tierra firme (Wilson 1988).

Una de las principales consecuencias de la deforestación es la creación de paisajes fragmentados en los que algunos remanentes del bosque original, de tamaños y formas variables, quedan inmersos en una matriz de hábitat transformados (Kattan 2002). El proceso de fragmentación conlleva una disminución constante en el tamaño de los parches de bosque y el aislamiento creciente de los fragmentos (Bennett 1998). Además de los efectos físicos (en el clima y en el suelo) que la fragmentación puede causar en el ambiente como producto de la deforestación, la fragmentación puede provocar la extinción de muchas especies, tanto a nivel local como regional (Kattan 2002, Bennett 1998 y Primack et ál. 1998). La extinción de las especies como efecto de la fragmentación es motivo de estudio por su complejidad. Al respecto, Primack et ál. (1998) señalan que los mecanismos por los cuales la fragmentación amenaza la persistencia de las especies son las barreras que crea para los procesos de dispersión y colonización de poblaciones de especies que no estén adaptadas a moverse sobre hábitat perturbados.

Calderón et ál. (2004) señalan que las fuentes más importantes de presiones sobre la biodiversidad en Centroamérica son: la intensificación de las prácticas agrícolas, la deforestación, la alteración de los regímenes de fuego, la pesca insostenible, las especies invasoras y el sobrepastoreo. En Costa Rica, con base en una revisión realizada sobre los estudios de cobertura realizados a través de percepción remota, Sanchez- Azofeifa et ál. (2001) señalan que el proceso fuerte de deforestación se inició en los 40s. Posteriormente, entre 1979 y 1992 el bosque primario perdió un 38% de su extensión a una tasa de 2,9% anual. A pesar, de estas altas tasas de cambio de uso de la tierra, el Centro Científico Tropical (CCT) reporta que en el año 2000 el bosque denso alcanzó a cubrir un

45,4 % del territorio de Costa Rica, indicando una aparente estabilidad en cuanto a cobertura de bosque denso en cifras totales (comparando las cifras del 2000 con las de 1998). Sin embargo, el avance de los procesos de pérdida de hábitat y la consiguiente fragmentación a nivel local no está claramente identificado a través de estas cifras. Esto se debe probablemente a que el área de “bosque denso” cuantificada a nivel nacional que reporta el CCT et ál. (2002) representa la suma de los bosques primarios remanentes más los bosques secundarios, las plantaciones forestales maduras y en algunos casos más los cultivos de café con sombra, básicamente por las dificultades de la diferenciación entre estas coberturas al nivel del detalle en que se realizan los monitoreos reportados. En ese sentido, al margen de si los bosques secundarios tienen o no el mismo valor para la conservación que los primarios, el bosque secundario podría constituir una cobertura aún más vulnerable que el primario. Esto probablemente debido el escaso valor que representan para sus propietarios y por las dificultades que presenta para los encargados de hacer cumplir la ley distinguir cuando una sucesión secundaria califica como “bosque” y requiere la protección estricta. Por otro lado, los cambios de cobertura agrícola de café con sombra o pastos con árboles, hacia piña o palma que se observan actualmente (Carazo et ál. s.f.) probablemente reducirían aún más la conectividad existente entre los parches de bosques en los ecosistemas fragmentados.

2.2 Planificación sistemática para la conservación

Los ecosistemas naturales no protegidos albergan un componente importante de la biodiversidad total. Al no estar protegidos, los fenómenos de perturbación, transformación a usos más intensivos y fragmentación permanecen en estos ecosistemas, generando el aislamiento progresivo de los sitios designados como prioritarios para la conservación (Margalus y Pressey 2000). Por esta razón, surge la necesidad de planificar la conservación a nivel de paisaje involucrando no sólo los sitios prioritarios protegidos legalmente, sino los paisajes culturales donde están inmersos, creando redes funcionales para la conservación (Poiani et ál. 2000).

La planificación sistemática para la conservación se desarrolla con base en la teoría y los principios de la ecología y biología de la conservación (Calderón et ál. 2004). A nivel regional, este tipo de planificación se caracteriza por su extensión temporal y espacial amplia, para establecer redes de áreas de conservación bajo distintas categorías de manejo, con la participación del estado y la sociedad civil (Arango et ál. 2003). El objetivo de este tipo de planificación es direccionar los esfuerzos hacia la conservación a escalas mayores mientras se integran ecosistemas y especies a

escalas más finas. La efectividad de la planificación sistemática se basa en su eficiencia en usar los recursos limitados para lograr las metas de conservación (Poiani et ál. 2000 y Margalus y Pressey 2000).

Las razones principales por las que se hace necesaria una planificación a escala regional según Arango et ál. (2003) son porque: 1) las áreas protegidas no estarían manteniendo poblaciones viables de las especies que se desean proteger; 2) muchos procesos ecológicos suceden sobre grandes extensiones; 3) una alta proporción de la biodiversidad del planeta se encuentra en manos privadas fuera de los sistemas de áreas protegidas y 4) los esquemas de conservación especie por especie han resultado ineficientes bajo un esquema costo-beneficio.

Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) y The Nature Conservancy (TNC) son las primeras organizaciones de conservación que han introducido el concepto de planificación sistemática en sus esfuerzos por la conservación a nivel mundial (Dinerstein et ál. 1995 y Calderón et ál. 2004). WWF parte de la priorización de ecorregiones entendiendo por ecorregión una unidad de clasificación ecológica relativamente grande, que contiene un conjunto de comunidades naturales, que comparten la mayoría de especies, dinámicas y condiciones ambientales (Dinerstein et ál. 1995). Mientras que TNC desarrolla la planificación regional como base para desarrollar sus acciones de conservación, estableciendo prioridades sobre objetos de conservación (especies, comunidades o ecosistemas) y desarrollando estrategias (TNC 2000).

A nivel regional y local este tipo de planificación requiere la participación y el concurso del estado y los demás actores involucrados de la sociedad a nivel de cada país. Además, la planificación sistemática para la conservación se convierte en un proceso de manejo adaptativo, en el cual las primeras aproximaciones con respecto a la funcionalidad de un paisaje o sitio son perfeccionadas a través de investigaciones u observaciones posteriores, realizadas con mayor detalle (Poiani et ál. 2000).

2.2.1 Conceptos básicos

2.2.1.1 Áreas y redes funcionales para la conservación

El concepto de áreas funcionales para la conservación es considerado por TNC el eje articulador dentro de la planificación sistemática para la conservación. Las áreas funcionales se caracterizan por su tamaño, configuración y otras características del diseño determinadas por los ecosistemas

focales, especies y los procesos ecológicos sostenidos. La teoría dice que un área de conservación es considerada funcional si mantiene los patrones focales bióticos y abióticos y procesos dentro de sus rangos naturales de variabilidad en el tiempo, relevantes para la planificación de la conservación y manejo (ej. 100-500 años). Asimismo, las áreas de conservación funcionales no necesariamente se oponen a las actividades humanas, aunque su funcionalidad o integridad quizás sea fuertemente influenciado por tales actividades. Finalmente, las áreas funcionales para la conservación, a todas las escalas, requieren de manejo ecológico o restauración para mantener su funcionalidad (Poiani et ál. 2000).

Dentro del esquema de planificación de TNC se definen tres tipos de áreas funcionales para la conservación: sitios, paisajes y redes. Las características que definen estas áreas de conservación son la escala, los ecosistemas y las especies que son designados para conservar dentro de sus rangos de variabilidad. A la escala más pequeña, los sitios funcionales conservan un pequeño número de ecosistemas y/o especies; mientras que los paisajes funcionales buscan conservar muchos ecosistemas y especies dentro de sus rangos naturales de variabilidad a todas las escalas debajo de la regional (escalas gruesa, intermedia y local). Las redes funcionales integran los sitios y paisajes designados para conservar especies a escala regional (Poiani et ál. 2000).

Las redes funcionales proveen un contexto espacial adecuado, configuración y conectividad para conservar las especies a escala regional, incorporando en algunos casos el enfoque de conservación de la biodiversidad a múltiples escalas. Esta característica de integrar o no las escalas menores, representadas por los sitios o paisajes funcionales, distingue dos tipos de redes. Sin las redes, los sitios o paisajes funcionales quizás formen una serie de puntos de paso dispersos sin conexión (Poiani et ál 2000).

La decisión de si una área es o no funcional entraña preguntas complejas relacionadas con la evaluación de la integridad ecológica. Poiani et ál. (2000) señalan que los atributos ecológicos adecuados para evaluar funcionalidad son: composición y estructura de los ecosistemas focales y especies, regímenes de medioambiente dominantes incluyendo perturbaciones naturales, dinámica mínima del área y conectividad estructural. Cabe resaltar que el enfoque apropiado para un área de conservación es un proceso interactivo, que responde a un manejo adaptativo que se irá refinando con el avance de las investigaciones en el tiempo.

Entre los sitios funcionales protegidos por la legislación en Costa Rica, cuya importancia ha sido reconocida por su aporte a la conservación de la diversidad biológica tenemos a las áreas protegidas

(Hockings et ál. 2000, WWF 2004). Sin embargo, es también ampliamente reconocido que la mayoría de las áreas protegidas no pueden cumplir sus objetivos de conservación si se conciben y se manejan como áreas aisladas (Finegan y Céspedes s.f.).

2.2.2 Corredores biológicos

2.2.2.1 Antecedentes

El concepto de corredores parte de consideraciones teóricas, procedentes principalmente de la teoría sobre la biogeografía de islas, sobre la cual se concibe la recomendación de la protección o provisión de corredores continuos de hábitat para vincular fragmentos aislados como medida de conservación para contrarrestar los impactos de la disminución y fragmentación de los hábitat (Bennett 1998). En un inicio la función que se les asigna es conectar las áreas aisladas para promover el intercambio reproductivo de organismos biológicos. Durante la evolución de este concepto se incorpora el análisis de la matriz territorial o mosaico de usos de la tierra que conectan fragmentos de bosque natural a través del paisaje. En ese sentido, las nuevas investigaciones enriquecen el conocimiento de lo que pasa fuera del bosque con el análisis de los sistemas tradicionales de uso del suelo, como la agroforestería, cultivos múltiples y multiestrato, entre otros (Baudry et ál. 2003, Corry 2004, Sánchez et ál. 2005).

En la siguiente etapa de evolución del concepto de corredores y a pesar que su función biológica y su papel para la conservación no está completamente comprendido (en el Cuadro 1 se señalan las principales críticas a los corredores sintetizadas por Bennett 1998), los corredores se han convertido para los planificadores en un mecanismo que busca articular los objetivos de conservación con la implementación de alternativas sostenibles de uso de la tierra (Andrade 2004 y Bennett 1998). La opinión de los planificadores a nivel de Latinoamérica es que para cumplir el objetivo de conservación de los corredores biológicos es necesario llegar a un equilibrio entre las necesidades de las comunidades, la dinámica económica y el potencial de los recursos naturales (Guerrero 2004).

En este proceso de evolución conceptual, se da actualmente una diversidad de concepciones que coexisten en forma paralela en los proyectos de corredores. Así, en un foro internacional organizado por la IUCN, en el año 2004, donde participaron los representantes de diversas propuestas de corredores a nivel de Latinoamérica, se agrupó esta diversidad de aplicaciones en tres tipos de acuerdo a sus objetivos de creación: 1) Corredores biológicos o de hábitat; 2) Corredores de

conservación y 3) Corredores de desarrollo sostenible (Cuadro 2). Además de las clasificaciones basadas en sus objetivos, los corredores también han sido clasificados en función a la escala en que se desempeñan. En esta clasificación, los enlaces a escala de paisaje, son los que unen reservas de conservación y suelen tener como propósito mantener la conectividad para agrupaciones enteras más que para especies individuales (Bennett 1998).

Cuadro 1. Principales críticas a los corredores biológicos.

- No se dispone de suficiente evidencia científica para demostrar los beneficios potenciales de los corredores para la conservación.
- No se conoce si los efectos potenciales negativos pueden exceder o no cualquier valor que tenga la conservación.
- No está claro si los corredores son o no una opción efectiva (desde el punto de vista económico) en comparación con otras formas de utilizar recursos escasos para la conservación.
- Los sistemas de seguimiento y evaluación para entender la efectividad de los proyectos de corredores son aún débiles.

Fuente: Bennett (1998) y Guerrero (2004)

La amplitud del concepto de corredores los convierten en una herramienta versátil apropiada para la aplicación de conceptos que van desde los fundamentos teóricos de la biología de la conservación (Bennett 1998) hasta la aplicación de estrategias de desarrollo sostenible como los principios del enfoque ecosistémico (Guerrero 2004 y Andrade 2004). Además, han sido considerados, instrumentos útiles en cuanto a la planificación de la adaptación ante la posibilidad de eventos como el cambio climático cuyo pronóstico incierto precisa de la toma de medidas a nivel de paisaje y a escala regional (Malcolm et ál. 2002, IUCN s.f.).

Cuadro 2. Diferencias principales entre los objetivos de los corredores.

Tipos de corredores	Objetivos
Biológicos	Se concentran en la conectividad biológica, promueven el flujo genético entre fragmentos de hábitat de especies animales o vegetales.
Conservación	Se buscan además de la conectividad biológica, la conectividad social (participación), planeación biorregional que involucra como componentes críticos a las áreas protegidas y tiene énfasis en prácticas de uso sostenible.
Desarrollo sostenible	Además de los objetivos de los anteriores buscan la conectividad política (cooperación e integración), conectividad económica y comercial, principios de sostenibilidad, respeto a la diversidad cultural y búsqueda de equidad social.

Fuente: Andrade et ál. (2004), Guerrero (2004) y Tamara (2004),

2.2.2.2 La función biológica en el diseño de los corredores

En medio de la evolución del concepto de corredores prevalece la función biológica original por la cual nació esta estrategia como eje central del diseño de corredores. Las estrategias o mecanismos para el diseño son igual de variados y parten de diferentes puntos de vista. Bennett (1998) señala que los aspectos biológicos a tomar en cuenta en primer término son: el propósito biológico de la conexión, la ecología y comportamiento de la especie que usará el corredor, la conectividad estructural, calidad del hábitat, efecto de los límites, ancho, ubicación y monitoreo del uso de los enlaces. La perspectiva de IUCN (sf) es más amplia y general, los pasos que señala comprenden: integración de áreas protegidas, conectividad funcional y específicamente una red de conectividad, conservación de la biodiversidad y planificación y ordenamiento del territorio y los usos, sobre todo usos de tierra compatibles.

Un acercamiento a como incorporar la función biológica en el diseño de los corredores es presentado por Campos y Finegan (2002). Esta investigación comprendió la identificación y validación de principios, criterios e indicadores para el diseño de corredores biológicos. En ella se señalan tres dimensiones (biológica, social y económica), donde se identifican los indicadores y verificadores que justificarían el establecimiento de un corredor biológico. Sus indicadores además de responder al criterio de conectividad biológica, destacan la inclusión de especies o hábitat no representados dentro del sistema de áreas protegidas y la ampliación del área absoluta de los hábitat amenazados.

2.2.2.3 Redes de conectividad

La respuesta a la pregunta de si los corredores proveen o no conectividad en paisajes fragmentados depende de muchos factores, entre los principales se encuentran: la especie en cuestión, el tipo de hábitat y su condición, y el enfoque con que se ataca el problema desde el punto de vista del diseño experimental (Beier y Noss 1998). La conectividad como concepto propiamente dicho es un término que recoge una diversidad de significados. La razón por la cual no existe un acuerdo en cuanto a la aplicación de este término, es lo relativo a la funcionalidad de la conectividad entre fragmentos, ya que muchos organismos pueden desplazarse a través de la matriz aun cuando no exista un corredor que presente el mismo hábitat que los fragmentos (Kattan 2002).

En una revisión realizada de las investigaciones sobre conectividad llevadas a cabo entre el año 1985 al 2000, Goodwyn (2003) diferenció entre conectividad estructural y funcional. Para medir la conectividad encontró hasta diez formas diferentes que van desde las más simples, como la cantidad

de hábitat en el paisaje, hasta teorías gráficas basadas en modelos matemáticos muy complejos. Baudry et ál. (2003), integran los conceptos de conectividad estructural y funcional señalando que la conectividad es una medida de la estructura del paisaje y los requerimientos individuales de las especies en cuanto a área y distancias de dispersión. Los modelos elaborados basados en este concepto utilizan las distancias ponderadas entre fragmentos, considerando las diferentes dificultades para el desplazamiento sobre los diferentes usos de la tierra.

El componente estructural de la conectividad lo determina la distribución espacial de los tipos diferentes de hábitat en el paisaje. Influyen en él factores como la continuidad de hábitat adecuados, la dimensión de las brechas, la distancia que se debe atravesar, y la presencia de senderos alternativos (característicos de redes). Mientras que el componente funcional de la conectividad se refiere a la respuesta conductual de individuos y especies a la estructura física del paisaje. Intervienen en él factores como la escala en que una especie percibe y se desplaza dentro del medio ambiente, su grado de especialización a un hábitat, su “tolerancia” ante hábitat alterados, la fase de vida, tiempos y formas de desplazamientos y dispersión, y la respuesta de la especie ante depredadores y competidores (Bennett 1998).

Una medida de la conectividad basada en la dinámica de los patrones estructurales y la evaluación del movimiento potencial ofrece la posibilidad de aproximarse a unir los procesos biológicos (comportamiento de las especies) y la dinámica del paisaje. Baudry et ál. (2003) señalan con base en las investigaciones que realizaron sobre medidas de conectividad en paisajes fragmentados que las actividades adoptadas por los agricultores que incorporan árboles en sus sistemas pueden ayudar a mejorar la conectividad.

Con base en los conceptos sobre conectividad, McGarigal et ál. (2002) diseñaron el Software Fragstat 3.3, mediante el cual se facilita el cálculo de una serie de medidas de las métricas del paisaje. Estas medidas pueden ser clasificadas de acuerdo a si se toman en cuenta o no procesos ecológicos particulares. La mayoría de medidas están agrupadas bajo el nombre de métricas estructurales, las que pueden ser definidas como aquellas que miden composición física o configuración del mosaico de parches sin referencia explícita a los procesos ecológicos. Por otro lado las métricas funcionales, pueden ser definidas como aquellas que explícitamente miden los patrones del paisaje en una manera que es funcionalmente relevante al organismo o proceso bajo consideración. Así, las métricas de conectividad que consideran la permeabilidad de los varios tipos de parches al movimiento de los organismos o procesos de interés son métricas aproximadamente

funcionales, donde, cada parche en el mosaico contribuye al cálculo de la métrica bajo una particular asignación de los coeficientes de permeabilidad (McGarigal et ál. 2002).

Goodwin (2003) señala que en las investigaciones realizadas que utilizan como variable a la conectividad, esta es vista de dos formas como una variable de la cual depende la función biológica que se intenta medir y como una variable dependiente de otros procesos. Este autor recomienda que las futuras investigaciones a realizar deberían enfocarse en: 1) establecer las relaciones entre la estructura del paisaje y la forma del movimiento de los organismos, 2) determinar las relaciones entre las medidas de la conectividad, particularmente estructural y funcional y 3) probar empíricamente modelos predictivos considerando la conectividad en el paisaje.

La conectividad como variable dependiente es calculada en función del arreglo espacial de los fragmentos de hábitat y la composición de los usos de la matriz (Corry 2004). Tischendorf (2001) en un análisis donde mide diferentes índices de conectividad con respecto a las variaciones en los patrones espaciales de uso de la tierra, señala que existe una relación entre los patrones espaciales del paisaje y las medidas de conectividad. Por eso, intuitivamente podemos considerar que cualquier cambio hacia usos de la tierra más intensivos afectará la conectividad entre los fragmentos de bosque aún cuando no hubiera deforestación.

2.2.2.3.1 Núcleos prioritarios para la conservación

El establecimiento de núcleos prioritarios para la conservación es parte fundamental para el diseño de redes de conectividad. Este procedimiento práctico se basa en el concepto que la conservación del paisaje empieza por la comprensión de los objetos prioritarios de conservación en el área (Low 2003). Los objetos de conservación en un paisaje quizás incluyan sistemas ecológicos, comunidades, especies y otros recursos naturales importantes (Low 2003).

En Mesoamérica debido a la escasa disponibilidad de información sobre especies tanto de flora como de fauna, los objetos de conservación priorizados son más bien unidades más grandes a escala más gruesa, que quizás incluyen sistemas ecológicos, comunidades ecológicas y otros recursos naturales importantes (Palmintieri et ál. 1999 y Calderón et ál. 2004). Dado el incompleto conocimiento del estado actual de la biodiversidad, Margules y Pressey (2000) sugieren que las variables medioambientales son buenos estimadores de los patrones de distribución espacial de las especies, lo que ha sido demostrado por varios estudios empíricos.

Entre las acciones recomendadas para identificar la lista de objetos de conservación en un paisaje están: 1) determinar la viabilidad ecológica de los sistemas y grupos de especies objeto que ocurren en un paisaje, con especial atención a los sistemas en escala gruesa y los sistemas que tienen otros objetos dentro del área y 2) determinar si un objeto de conservación es viable o factible de restaurar (Low 2003). Además, Margules y Pressey (2000) señalan que hay que tomar en cuenta en forma integrada siete aspectos de la teoría de los procesos ecológicos y evolucionarios: la teoría de la biogeografía de islas, la dinámica de las metapoblaciones, efectos de las interacciones de las fuentes y caminos para la sucesión; requerimientos autoecológicos espaciales, estructura de las poblaciones fuentes-sumidero, efectos de la modificación del hábitat y especies como unidades evolucionarias (preferir áreas cuyo proceso de evolución físico y biológico es mejor comprendido).

Kattan (2002) señala que el conocimiento de la dinámica del balance de fuentes y sumideros resulta decisivo en los paisajes fragmentados, puesto que si se destruyen los hábitat fuentes y se preservan solo los sumideros, las especies quedarían condenadas a la extinción. Además, la selección de los parches de bosques prioritarios para conservar en un paisaje fragmentado, dependerá de cómo actúen los mecanismos de extinción a escala de los fragmentos.

Los principales efectos sobre la extinción de las especies en los fragmentos, según Kattan (2002) son: los efectos del área, borde y aislamiento. Determinar el área mínima viable puede resultar complejo puesto que esto va a depender de los requerimientos individuales de cada especie. Además, la probabilidad de que un fragmento tenga una variedad de recursos disponibles todo el año, se encuentra en relación directa con su área (Kattan 2002). Bennett (1998) señala que los grandes tramos de hábitat son un recurso escaso y valioso y tienen muchos valores ecológicos intrínsecos, como la diversidad de tipos de vegetación, la probabilidad de que se encuentren hábitat raros o especializados, la riqueza de especies de plantas y animales, el tamaño de las poblaciones y la sostenibilidad de regímenes de perturbación natural.

El grado de aislamiento de un fragmento es también una medida relativa y se da en función de la movilidad de los organismos, de su comportamiento de dispersión y de su capacidad de utilizar los hábitat de la matriz. Así, los procesos ecosistémicos que son sensibles a efectos de aislamiento son los que dependen de algún vector para el traslado a través del paisaje (Bennett 1998 y Dale et ál. 1994). Asimismo, la presencia del borde en parches de bosque puede tener consecuencias negativas para algunas especies al interior del bosque, por los cambios en las condiciones bióticas y abióticas que el borde origina en sus inmediaciones (Kattan 2002).

Finalmente, Margules y Pressey (2000) señalan que dado que la planificación de la conservación es un ejercicio espacial, la protección de sus procesos naturales debe basarse en sus indicadores espaciales más que en los procesos por sí mismos (por ejemplo, tamaño, forma, caminos, cuencas, rutas de migración, etc).

2.2.2.3.2 *La matriz*

La capacidad de utilizar la matriz y por lo tanto, de recolonizar un fragmento dentro de esta matriz, es un factor decisivo en la persistencia o no de una especie en un paisaje fragmentado (Gascon et ál. 1999). Es un conocimiento ampliamente difundido que los ecosistemas de la matriz son relativamente comunes y típicamente no contienen especies raras (entendiendo como matriz el hábitat donde se encuentran inmersos los parches de bosque primario). Sin embargo, una matriz estable es a veces una clave de la persistencia a largo plazo de pequeños parches de ecosistemas a escalas menores (Poiani et ál. 2000). Kattan (2002) señala que aún las especies típicas de áreas abiertas se ven amenazadas de extinción cuando un paisaje de pastizales arborizados es transformado en uno de monocultivos extensos. Esto es reafirmado por los resultados de las investigaciones realizadas por Baudry et ál. (2003), los cuales señalan que para un sistema agropecuario dado, las restricciones físicas y patrones de campo son tales que la conectividad a través del paisaje permanece a través de los años, mientras que es significativamente diferente entre dos sistemas agropecuarios distintos, entre los cuales los coeficientes de resistencia al desplazamiento son totalmente diferentes.

Aún en el caso que la matriz esté dominada por hábitat abiertos, la presencia de pequeños parches de bosque que sirven como refugios temporales puede permitir el movimiento de algunas especies por el paisaje (Kattan 2002).

Kattan (2002) señala que la composición de los hábitat que se encuentren en la matriz, así como su heterogeneidad puede determinar el curso que sigan las especies de los fragmentos de bosque. Otro factor muy importante para la persistencia de organismos con ciclos de vida complejos, que utilizan más de un tipo de hábitat, es la heterogeneidad. Baudry et ál. (2003) señalan que la comprensión de la dinámica de la conectividad en la matriz depende de tres factores: (1) La distribución de la cobertura de la tierra, (2) La ubicación inicial de los bosques y los patrones de distribución de las redes de cercas vivas y (3) la distribución de usos de la tierra al interior de las fincas.

2.2.2.4 Principales factores que afectan la conectividad y el cambio de uso de la tierra.

Los procesos que afectan la conectividad no se dan aisladamente, responden a una dinámica espacial. Aunque, no existe un acuerdo para definir la unidad más apropiada para el análisis del uso de la tierra, Stanfield et ál. (2002) utilizan la cuenca, encontrando que las cuencas con propietarios mixtos parecen proveer una magnífica diversidad de coberturas de bosque, mientras que las cuencas con pocos propietarios proveen menos diversidad pero más bosques conectados. Los resultados sugieren que los patrones de los propietarios de la tierra en una cuenca están fuertemente correlacionados con los patrones de la cobertura del bosque. Sin embargo, a nivel de cuenca poco se sabe acerca del impacto en el hábitat o la biota causado por las interrelaciones entre los diferentes usos de la tierra puesto que la mayor parte de los estudios conducidos se centran en la calidad y cantidad de agua (Gomi et ál. 2002) y no en la biodiversidad.

Los estudios sobre el cambio en la cobertura y uso del suelo proporcionan la base para conocer las tendencias de los procesos de deforestación, degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada (Lambin et ál. 2000). Con base en un estudio que llevaron a cabo en la zona montañosa del Ecuador, Vanacker et ál. (2003) señalan que a pesar de la intensificación del uso agrícola, la proporción de la cobertura total de los bosques no varió debido a la regeneración de los bosques secundarios en las fincas abandonadas y la reforestación en las tierras degradadas, sin embargo a nivel local el proceso de fragmentación se siguió dando. Por eso, analizar el cambio de uso a nivel espacial es muy importante especialmente en paisajes altamente fragmentados, donde los pequeños hábitat son fundamentales para el arreglo de redes de hábitat (Corry 2004).

Las razones por las cuales el cambio de uso de la tierra es altamente dinámico en algunos sectores y menos en otros varían de acuerdo a la situación específica de cada lugar. Vanacker et ál. (2003) señalan que los cambios responden a factores socio-económicos, demográficos y políticos. Así entre los 60s y los 70s la reforma agraria, en Ecuador, originó una alta tasa de cambio de bosques hacia pastos y de pastos hacia tierras de cultivo. Asimismo, las variables medioambientales tienen también una importante influencia sobre la dinámica del cambio de uso de la tierra. Mas (2005) desarrolló una metodología donde analiza como cinco variables medioambientales pueden influenciar en las evaluaciones de los cambios en el interior y el exterior de las áreas protegidas (AP), en el ámbito de la Reserva de biósfera de Calakmul en México. Las variables independientes evaluadas fueron: elevación, pendiente, suelos, distancia a caminos y distancia a asentamientos y la

variable dependiente tomada como indicador de éxito de gestión fue la tasa de deforestación. Los resultados del estudio mostraron que el AP fue efectiva en prevenir la deforestación, pero que la comparación con la zona de amortiguamiento sobrestima su efectividad. Esto último, debido probablemente a que la deforestación es mucho menor en el AP que en la zona de amortiguamiento no necesariamente por el manejo efectivo sino por otras condiciones de las variables en estudio que hacen que sea menos susceptible a la deforestación como por ejemplo el hecho casi generalizado de ser áreas mucho más alejadas de las carreteras principales.

Angelsen y Kaimowitz (1999) clasifican el proceso de cambio de uso de la tierra en tres niveles diferentes: fuentes, causas inmediatas, y causas subyacentes. El primer nivel (fuentes) identifica a los agentes de deforestación (minifundistas, rancheros, madereros, plantación compañías) y su importancia relativa. El siguiente nivel (causas inmediatas), se concentra en las decisiones de los agentes, basadas en sus propias características (fondo, preferencias y recursos) y sobre parámetros de decisión tal como precios, tecnología, instituciones, nueva información y acceso a servicios e infraestructura. Finalmente, las características de los agentes y los parámetros de decisión son determinados por fuerzas más amplias. Estas causas subyacentes de la deforestación influyen en los agentes directos por varios canales: el mercado, la diseminación de nuevas tecnologías e información, el desarrollo de infraestructura, e instituciones, en particular el régimen de propiedad.

2.3 Herramientas de análisis

2.3.1 Análisis multicriterio y sistemas de información geográfica para el diseño de rutas de conectividad

La habilidad para incorporar diferentes criterios en la aplicación a decisiones de conservación se ha incrementado con nuevas herramientas y técnicas disponibles (Poiani et ál. 2000). El tipo de análisis multicriterio, que parte de la combinación de evaluaciones de expertos con análisis de datos espaciales explícitos consistentes tiene múltiples ventajas, una de ellas es que los expertos en un determinado grupo están inevitablemente sesgados geográfica y taxonómicamente, debido a esto la combinación de sus apreciaciones da una valoración más precisa (Margalus y Pressey 2000). Para la aplicación del análisis multicriterio, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son las herramientas más destacadas, puesto que permiten organizar espacialmente la información de modo que se puedan establecer estructuras jerárquicas y permitir el establecimiento de prioridades locales,

además de permitir el análisis en el tiempo (Mas 2005; Salem 2003; Leimgruber et ál. 2005 y Prato 2001).

2.3.1.1 Análisis multicriterio

El análisis multicriterio es una técnica flexible y versátil para lidiar con problemas multivariados complejos en un amplio rango de campos de toma de decisión para el manejo de recursos. La base para este análisis es la identificación y selección de un apropiado grupo de indicadores, así como la valoración de los mismos, con los cuales se juzga la condición de un recurso o su estado de sostenibilidad (Sánchez 2002). Además, para calificar los criterios es conveniente valorarlos en función a las características del área de estudio (Sánchez 2002).

El análisis multicriterio espacial contiene un componente geográfico en el cual se combina el empleo de un SIG para el procesamiento de los datos espaciales y las técnicas de análisis multicriterio. El procedimiento usado en esta metodología involucra la utilización de datos geográficos, las preferencias de los tomadores de decisiones, y la manipulación de los datos y preferencias de acuerdo a reglas de decisión específicas (Malczewski 1999).

En un modelo de análisis multicriterio no hay una solución que optimice todos los criterios al mismo tiempo. La principal ventaja de este método es que puede considerar una gran cantidad de datos, relaciones y objetivos (con frecuencia en conflicto) que por lo general están presentes en un problema de decisión específica, de modo que ese problema de decisión concreto puede analizarse desde múltiples perspectivas. La principal desventaja es que una acción puede ser más adecuada que otra, conforme a cierto criterio y peor según otro (Malczewski 1999 y Marozzi s.f.).

Las consideraciones críticas a tomar en cuenta en esta metodología son: la capacidad del sistema de información geográfica a usar, y, la capacidad del análisis multicriterio para agregar los datos geográficos y las preferencias de los tomadores de decisión en un solo sistema de alternativas de decisión (Malczewski 1999). Al no tener referencias precisas sobre cuales preferencias son las más adecuadas se necesita usar un método que logre un consenso entre los tomadores de decisiones. En ese sentido el Metodo Delphi es útil para cerrar la brecha entre una situación de desconocimiento total de un hecho y una apreciación calificada del mismo (Ureña y Palao 1981). Este método asume que individuos bien informados, usando sus razonamientos y experiencia, son mejores para predecir el futuro, que un acercamiento teórico o que la extrapolación de tendencias. Sus principales ventajas estriban en que es útil para participantes que no tienen experiencia en una comunicación adecuada,

permiten contrastar mucho mejor la información disponible sobre el tema en investigación y tomar en consideración diferentes puntos de vista sobre el mismo.

2.3.1.2 Los sistemas de información geográfica

Salem (2003), con base en una revisión de las aplicaciones de los SIG señala sus ventajas. En primer lugar los SIG permiten combinar, comparar y analizar las bases de datos para producir nuevas relaciones entre las características del medioambiente y la asociación entre diferentes biota. En segundo lugar, permiten comunicar en una forma efectiva una gran variedad de información. Estos sistemas son diseñados para aprovechar los datos disponibles, extraer la información y mostrar el conocimiento necesario, que permita direccionar las acciones de conservación, de acuerdo a las necesidades de los usuarios quienes quizás no sean especialistas de biodiversidad. De esta manera, el SIG aporta a la integración del uso de la información de biodiversidad en el proceso de toma de decisiones a todos los niveles de la sociedad.

La función del SIG más común para el diseño de corredores biológicos, que ha sido usada para establecer las rutas de conectividad, es el *Cost-distance* (Jiménez 2000 y Ramos Bendaña y Finegan 2006). Esta función presente en diferentes *softwares* como *ArcView* e *IDRISI* (Eastman 2003 y ESRI 1996) incorpora una medida de la resistencia de la matriz del paisaje al movimiento de las especies. La función identifica las rutas de menor costo en toda el área de estudio en la cual se han asignado valores de fricción al desplazamiento de las especies para cada unidad de área. En un estudio llevado a cabo con mariposas, Chardon et ál. (2003) comparan la efectividad de la medida que toma la función *cost-distance* comparándola con la distancia euclidiana, encontrando que la primera es significativamente más consistente, debido a la incorporación de la resistencia y la configuración espacial de la matriz, debido a lo cual la convierten en una aproximación más a una medida de la conectividad funcional.

2.3.2 El análisis multitemporal y los sensores remotos

Los estudios multitemporales son llevados a cabo con el objeto de detectar cambios entre dos fechas de referencia, deduciendo de ahí la evolución del medio natural, de las áreas críticas, y de los factores asociados al cambio o las repercusiones de la acción humana sobre el medio y planeando con base en los resultados las medidas adecuadas para evitar su deterioro o asegurar su mejor conservación (Chuvieco 1990, Baritto 2000 y Trejos 2004),

Para el análisis multitemporal del cambio del uso de la tierra, Leimgruber et ál. (2005) señalan que el uso de imágenes satelitales en particular de Landsat TM tiene muchas ventajas, entre las principales están que la resolución espacial y temporal permite el detalle suficiente para detectar cambios en el uso de la tierra en el tiempo, la capacidad para cubrir grandes e inaccesibles áreas usando una misma resolución, con un uniforme nivel de detalle a relativamente bajo costo, los mapas producidos pueden ser usados junto a otras capas en un SIG y los datos pueden ser usados para identificar cambios a escala de paisaje (Leimgruber et ál. 2005).

Al respecto de las técnicas para la clasificación de cada imagen en las diferentes coberturas de la tierra, Pedroni (2000) señala que la interpretación visual presenta ventajas sobre otros métodos de clasificación puesto que no solo observa el color de un píxel (su patrón espectral), sino también su contexto espacial, sus relaciones con los píxeles vecinos y la forma del objeto contiguo. Asimismo, Chuvieco (1990) señala que para áreas relativamente pequeñas y para clasificaciones con pocas clases de uso de la tierra, el uso de la interpretación visual, conjuntamente con el uso de índices como el NDVI (índice de vegetación), presenta ventajas sobre la clasificación supervisada. Esto es reforzado por el hecho que las elecciones humanas son determinadas por la distribución espacial de las coberturas de la tierra. Por ejemplo: los cultivos crecen alrededor de las carreteras y mercados y los bosques secundarios se desarrollan donde las fincas están abandonadas, pero que además han sido accesibles para los humanos (Pedroni 2000).

Sin embargo, la mayor dificultad que presentan las imágenes Landsat TM en la interpretación de los bosques tropicales quizás sea la falta de discriminación entre bosque secundario, bosque intervenido y bosque primario no perturbado. Las dificultades se deben a la definición de bosque en sí misma, la similaridad espectral, espacial y resolución temporal de los datos de sensores remotos. Además, Pedroni (2000) señala que las imágenes Landsat TM son útiles para la discriminación de bosques secundarios y disturbados solo en las regiones tropicales de bajas pendientes y reducida fragmentación. Para esto es necesaria una alta densidad de puntos en campo de buena calidad, operaciones de clasificación y a veces datos auxiliares como la altitud. Indica además que es poco probable que las imágenes Landsat TM puedan ser usadas con el mismo propósito y similares niveles de éxito en regiones tropicales más complejas. La topografía, la diversidad ecológica, la fragmentación y la intervención continua en el bosque son fuentes de “ruido espectral” que reduce la posibilidad de hacer una buena discriminación usando datos espectrales solamente.

2.3.3 Los modelos de transición de uso de la tierra

Kattan (2002) señala que la deforestación rara vez es aleatoria desde el punto de vista espacial, ella tiende a concentrarse en algunos tipos de hábitat, los cuales pueden ser eliminados totalmente. Las metodologías y modelos que se trazan para comprender este fenómeno nos permiten aproximarnos al porqué, dónde y cuándo ocurrirán. La finalidad de estos modelos es servir de soporte a la toma de decisiones en función al análisis espacial de los factores determinantes de los procesos de cambio.

Prato (2001) plantea un sistema de soporte de decisiones a nivel espacial (SDSS) que permite a los administradores de áreas protegidas y otros decisores predecir cambios regionales en los cambios de uso de la tierra y estructura del paisaje, y sus impactos sobre la integridad ecológica y actividad económica. El SDSS incorpora imágenes Landsat TM, cambios históricos de uso de la tierra basados en esas imágenes, un submodelo de predicción de cambios de uso de la tierra, un submodelo de proyección económica, medidas de la estructura del paisaje y un soporte de base de datos.

Un análisis realizado por Kaimowitz (1997), con base en una revisión de más de 140 modelos de cambio de uso de la tierra, sostiene que dichos modelos simplifican los procesos complejos multidimensionales y destacan sólo algunas de muchas variables y relaciones casuales implicadas en el cambio de uso. Estos modelos, sin embargo, permiten que se piense en la deforestación más sistemáticamente y se explore los efectos posibles de la política u otros factores exógenos que se relacionan con el cambio de uso de la tierra. Donde los modelos responden a las preguntas señaladas más adelante de por qué, dónde y cómo se produce el cambio de uso de la tierra.

Baritto (2000) señala que uno de los aspectos más relevantes encontrados en el modelo de uso de la tierra que desarrolló en un municipio en Venezuela, fue que la probabilidad de transición no parece estar regulada por factores normativos (como la condición de área protegida y la distancia mínima a cauces de ríos y quebradas) ni por restricciones físicas derivadas del relieve, de manera que cualquier área ubicada cercana a las zonas pobladas puede potencialmente ser convertida en el futuro con fines urbanos.

Eastman (2003) sugiere que el análisis de las cadenas de Markov es una herramienta conveniente para modelar el cambio de uso de la tierra cuando los cambios y procesos en el paisaje son difíciles de describir. La matriz Markoviana proporciona información sobre la tendencia de cada categoría

de uso o cobertura establecida, en función de las probabilidades de transición entre categorías de uso.

Las matrices Markovianas se basan en los siguientes supuestos: para un período determinado de transición, el uso de la tierra es estático y la variabilidad encontrada en el paisaje es espacial. Mediante esta premisa se comparan los usos de la tierra por cada píxel en diferentes años, calculando mediante ese procedimiento cual es la probabilidad de cambio para cada uso para una determinada área (Eastman 2003). Las limitaciones de este método para modelar el cambio de uso de la tierra tienen que ver con sus posibilidades a nivel de distribución de la probabilidad de deforestación a nivel espacial. Además, el hecho de ser modelos matriciales con valores fijos de transición no facilita el análisis.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

El ámbito de la investigación se localiza en la zona sur de Costa Rica, entre las Áreas de Conservación Osa y La Amistad Pacífico. El área de estudio durante la primera etapa de investigación fue de 426.328 ha, en ella se sitúan nueve reservas indígenas¹ y cuatro áreas protegidas (Cuadro 3). Por el noreste se extiende desde el Parque Internacional La Amistad (PILA), por el sureste limita con la Zona Protectora Las Tablas y por el este alcanza las áreas protegidas que llegan hasta el Pacífico Sur (ITCR 2004, Figura 1).

Cuadro 3. Áreas protegidas en el ámbito delimitado para la propuesta de red de conectividad.

Ubicación	Áreas protegidas	Área (ha)
En los límites	Parque Internacional La Amistad	199.147
	Zona Protectora Las Tablas	19.926
	Parque Nacional Piedras Blancas (solo el área terrestre)	14.025
	Refugio Nacional de Vida Silvestre Golfito (propiedad mixta)	2.811
	Humedal Nacional Terraba-Sierpe	27.066
	Reserva Forestal Golfo Dulce	60.564
Interior al área de estudio	Humedal Palustrito Laguna del Paraguas	51
	Humedal de San Vito,	45
	Reserva Agua Buena (propiedad privada)	182
	Refugio Nacional de Vida Silvestre Donald Peter Hayes (propiedad privada)	211

Fuente: SINAC (2003)

El rango altitudinal en la zona de estudio parte del nivel del mar y llega hasta los 3.290 msnm en las partes más altas al pie del Parque Internacional La Amistad (ITCR 2004), abarcando ocho zonas de vida y cinco transiciones desde el nivel basal con el bosque húmedo tropical hasta el bosque pluvial montano (Holdrige 1988). Las zonas de vida mejor representadas dentro del área de estudio son el bosque muy húmedo premontano (17,5 %), bosque muy húmedo tropical (17,1 %), bosque pluvial

¹ Reservas indígenas Bribri de Cabagra, Bribri de Salitre, Brunka de Boruca, Brunka de Curre, de Térraba, Guaymí De Altos De San Antonio, Guaymí de Abrojos-Montezuma, Cabecar de Ujarras y Guaymí de Coto Brus.

premontano (14,3 %), bosque muy húmedo premontano transición a basal (13,4 %) y bosque húmedo tropical (13,3 %).

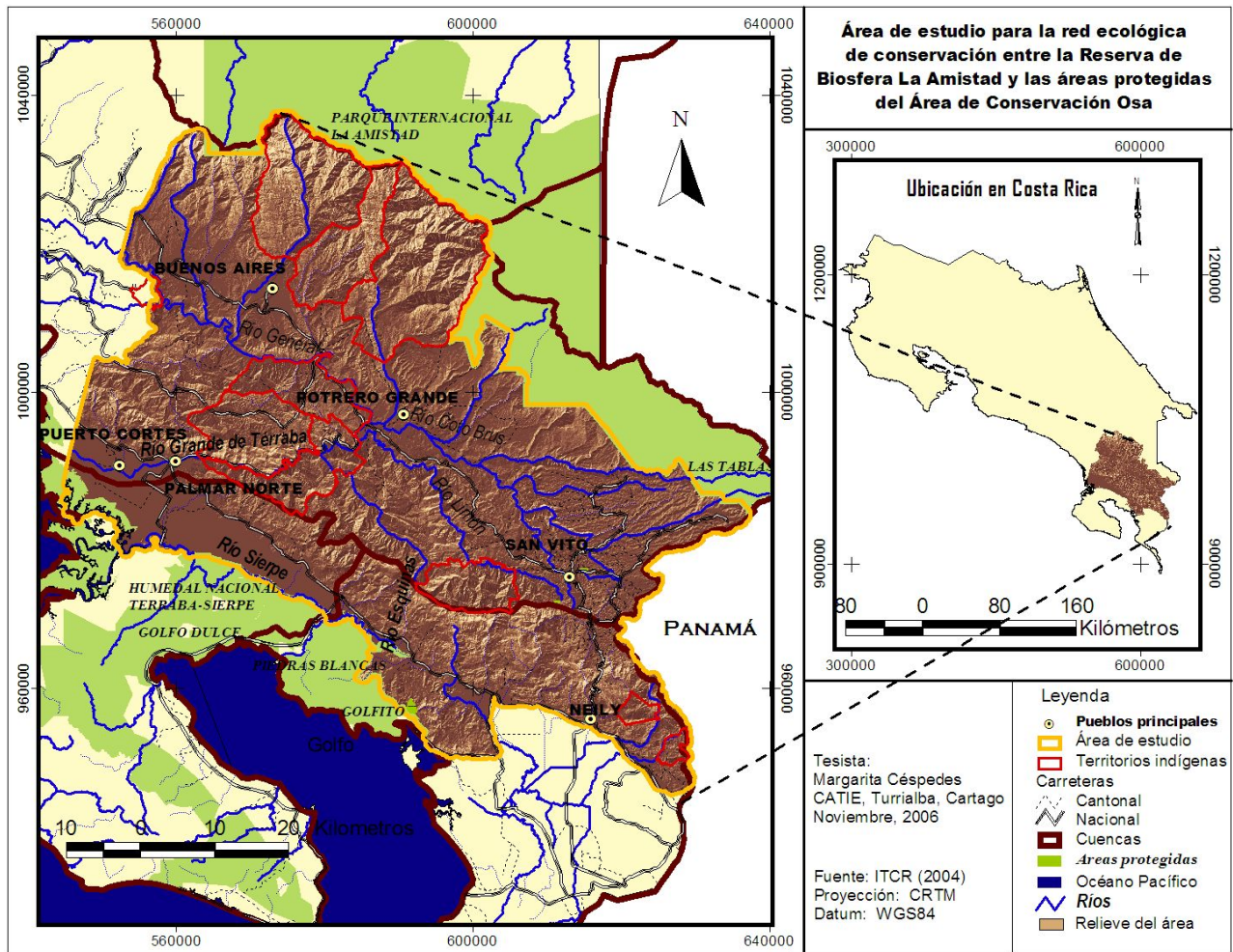


Figura 1. Ubicación y principales características del área de estudio para el diseño de la red ecológica de conservación entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas del Área de Conservación Osa.

De acuerdo al Atlas de Costa Rica (ITCR 2004) el área de estudio se ubica principalmente sobre las cuencas de los ríos: Grande de Térraba, Sierpe y Esquinas. De ellas la cuenca del Río Grande de Térraba -formada por las subcuencas de los ríos: General, Coto Brus, Limón y Grande de Térraba- es la más grande e importante no solo del área de estudio sino también del país, por la calidad y disponibilidad potencial de agua para consumo humano (Portuguez et ál 2003). Ubicada paralela a la línea de costa del Océano Pacífico entre la Cordillera de Talamanca y la Fila Costeña, representa aproximadamente el 10% del área total de Costa Rica.

De acuerdo a la última evaluación de la cobertura forestal realizada con imágenes satelitales del año 2000 disponible en el Atlas de Costa Rica (ITCR 2004), en el área donde se desarrolló la investigación se mantiene aproximadamente un 31 % de bosque, por lo que de acuerdo a la clasificación de McIntyre y Hobbs (1999) se trata de un paisaje fragmentado (paisaje que mantiene entre 10 y 60% de cobertura forestal). Los estudios realizados a nivel de país indican que se llegó a este estado luego de un proceso de deforestación acelerada que se fue frenando a finales de la década de los 80s, a partir del cual se habría entrado en una etapa de estabilidad y ligera recuperación de cobertura forestal (Sanchez-Azofeifa et ál 2001). Sin embargo, no es conveniente comparar cifras provenientes de diferentes estudios de cobertura forestal puesto que una parte de las variaciones entre ellos es producto de las diferencias en la definición de la categoría “bosque”, las metodologías de evaluación y la forma como se presentan los resultados (Kleinn et ál. 2002).

Las nuevas estrategias para la conservación se han visto reflejadas, en el área de estudio, en la conformación de 10 corredores biológicos sumando los existentes en las Áreas de Conservación Osa (ACOSA) y La Amistad Pacífico (ACLIP), cuyos objetivos son: la preservación de los felinos y otras especies endémicas y en peligro de extinción; complementar áreas no representadas en los sistemas de áreas protegidas; y preservar los ciclos hidrológicos en las cuencas hidrográficas y los procesos ecológicos naturales (Cuadro 4). Los corredores mencionados se encuentran en diferentes niveles de gestión, desde los que se encuentran simplemente como una iniciativa hasta aquellos que cuentan con un nivel más avanzado apoyados por organizaciones de base.

3.2 Metodología

Esta investigación comprendió tres etapas. La primera fue el diseño del modelo para el trazo de las rutas iniciales de conectividad estructural, la segunda la modelación de la dinámica de los cambios de uso de la tierra en el área de estudio y la tercera recogió los insumos de las fases anteriores para diseñar la red ecológica de conservación óptima (Figura 2). En este estudio se consideró que la red ecológica era óptima cuando alcanzaba la mayor probabilidad de estabilidad en el tiempo, entendiendo como mayor estabilidad a la menor la posibilidad que sucedan cambios de uso de la

tierra que incidan en forma negativa ² en la conectividad en el área. A continuación se detallan aspectos metodológicos de cada una de las etapas de la presente investigación.

Cuadro 4. Corredores biológicos propuestos en las Áreas de Conservación Osa (ACOSA) y La Amistad Pacífico (ACLA-P).

Corredores biológicos	Objetivos	Área (ha)
Fila Cruces (en ACLA-P)	Sin información	32.647
Fila Guaymi	Preservar los cauces de ríos con gran potencial como fuentes de agua potable y de energía hidroeléctrica y el bosque tropical lluvioso de bajura con 28 especies de árboles de las cuales 21 son maderables comercialmente.	23.281
Fuente de Vida – La Amistad	Sin información	10.211
SN	No cuentan con ficha técnica	3.734
SN	No cuentan con ficha técnica	4.215
Corredores ACLA-P		74.089
Corcovado-Piedras Blancas	<ul style="list-style-type: none"> Es aumentar la cantidad de cobertura boscosa en la Península de Osa para asegurar la conservación de su biodiversidad. 	32.559
Fila Cruces (en ACOSA)	Sin información.	44.710
Paso de la Danta	<ul style="list-style-type: none"> Restablecer una ruta de comunicación para la flora y fauna entre los bosques de la Península de Osa y la cuenca del Golfo Dulce, con los de la Reserva Forestal de los Santos en la Cordillera de Talamanca. Proteger las cuencas hidrográficas, la zona costera y la calidad del paisaje de la región. 	20.138
Punta Burica (Boruca – Chánguena – Río Canasta)	<ul style="list-style-type: none"> Migración de felinos, saínos y existencia de especies como monos, felinos, jilgueros, tucán. Sistemas ecológicos no representados en áreas protegidas de sabanas, palmeras, helechos. Alto grado de endemismo. Especies de interés forestal como el Cristóbal, ron-ron, lechoso. Posible construcción del megaproyecto hidroeléctrico de Boruca. 	13.456
Corredor Biológico Boruca – Cabagra	<ul style="list-style-type: none"> Migración masiva de aves (loras, pericos, gavilanes, garza real, otras). Especies de flora no representados en áreas de protección como sabanas con palmera y helechos. Alto Endemismo. Madera comercial como lechoso, quira, ron-ron, guapinol. Posible construcción del megaproyecto hidroeléctrico de Boruca. 	No hay datos
Corredores ACOSA		110.862

Fuente: SINAC (2003) y Chavarría (2005)

² Cambio de un uso de la tierra de menor, a uno de mayor dificultad al desplazamiento de especies.

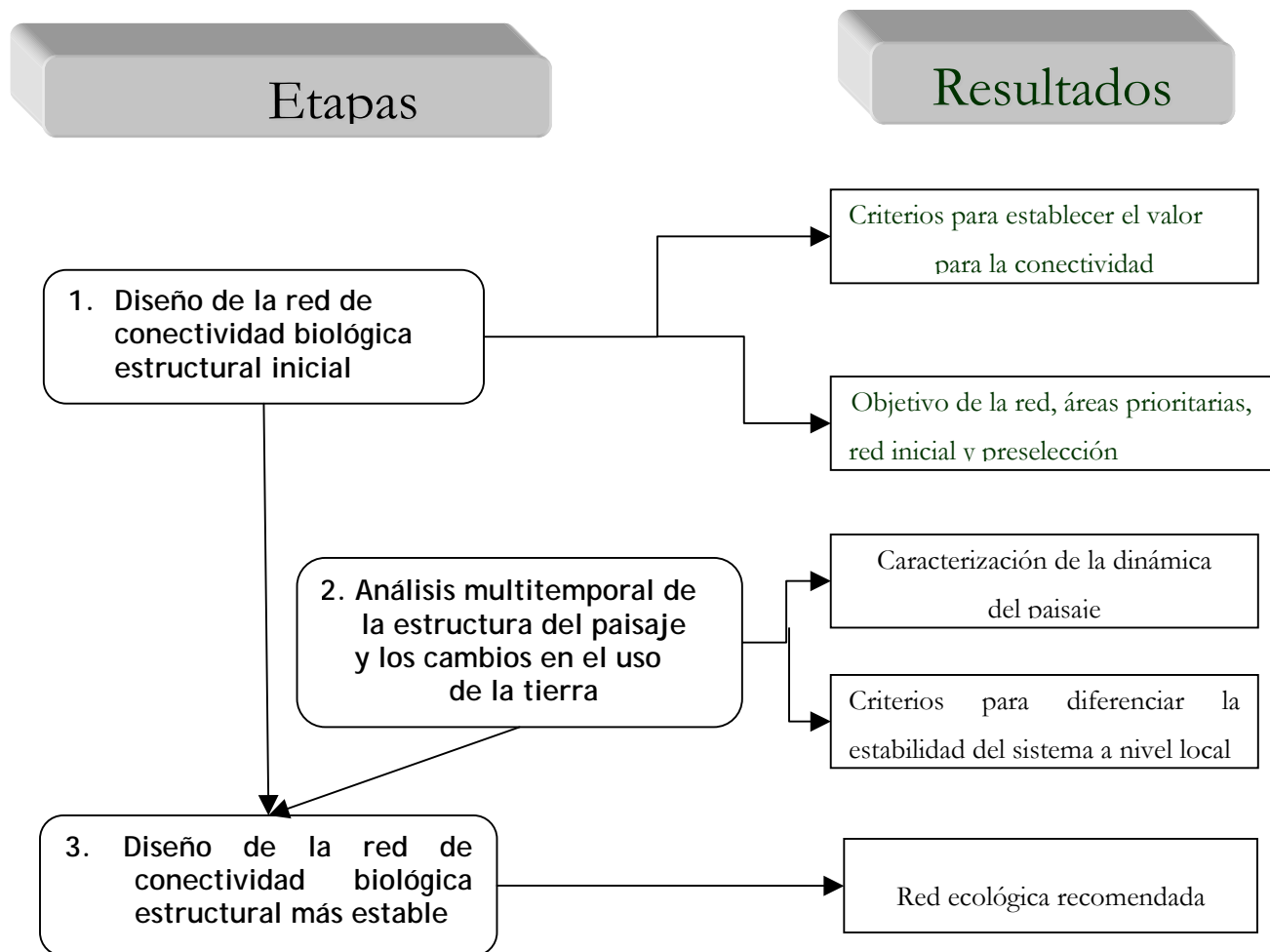


Figura 2. Esquema metodológico seguido en el desarrollo de esta investigación.

3.2.1 Etapa I: Diseño de la red de conectividad biológica estructural inicial

3.2.1.1 Generalidades

El propósito de esta etapa fue identificar rutas alternativas para la conectividad entre las áreas protegidas del área de conservación Osa y la Reserva de Biosfera La Amistad, con base en la adaptación de las metodologías utilizadas por Hctor et ál (2000), Jiménez (2000), Ramos Bendaña y Finegan (2006) y Murrieta (2005). El objetivo de definir dos o más posibles rutas es poder realizar un análisis comparativo de la estabilidad de la conectividad en cada una de ellas en las siguientes etapas de la investigación, a través del análisis espacial multitemporal de la estructura del paisaje, permitiendo recomendar el diseño de una ruta óptima con base en la probabilidad de la estabilidad de su estructura en el tiempo.

En esta fase de la investigación se utilizó como fuente de información de las coberturas naturales y los usos de la tierra a los mapas de ecosistemas del Proyecto Ecomapas correspondientes a las áreas de conservación Osa y La Amistad Pacífico (INBio 2002 y 2005) que fueron digitalizados manualmente con base en fotografías aéreas a color tomadas entre los años 1997 a 1999. Para efectos de homogenización de la información cartográfica se utilizó la proyección Costa Rica Transversal de Mercator (CRTM), utilizando como *datum* el esferoide WGS84. La escala del trabajo en esta etapa de la investigación se fijó en 1 en 50000 y la unidad mínima mapeable en 2 ha. La resolución fijada para toda la información cuando se trabajó en formato *raster* fue un píxel de 28,5m x28,5m, para mantener la resolución que se usaría en la segunda etapa de la investigación. Esta unidad de celda fijada representará una entidad con características propias para cada variable analizada. En el Anexo 2 se describe el procesamiento digital de cada variable utilizada en este modelo y las fuentes utilizadas para cada una de ellas.

El modelo usado para el diseño de la red de conectividad ecológica estructural inicial utilizó tres componentes:

1. Identificación de áreas protegidas a conectar y núcleos de hábitat prioritarios para la conservación que no están protegidos legalmente.
2. Establecimiento de niveles de dificultad al desplazamiento de las especies silvestres en toda el área intermedia entre las áreas protegidas identificadas como objetivo;
3. Modelación de la red de conectividad que integran los núcleos prioritarios para la conservación a través de las rutas de menor dificultad al desplazamiento.

Los criterios, variables y modelos utilizados para definir cada elemento de la red de conectividad estructural se identificaron y jerarquizaron en un proceso de consulta adaptado de la metodología Delphi, metodología utilizada para realizar análisis multicriterio para la toma de decisiones con base en el consenso de un grupo de expertos (Malczewski 1999, Ureña y Palao 1981 y Moricochi et ál. 1995).

3.2.1.2 Identificación y priorización de criterios y variables

En esta adaptación del método Delphi se trabajaron tres etapas básicas. En la primera se formularon los objetivos de la consulta a los expertos con respecto al tema de investigación a desarrollar en este proceso y se seleccionó el panel de expertos. En la segunda etapa se realizó la consulta al panel de expertos y se analizó estadísticamente la información recibida (expertos trabajando a nivel

individual). En la tercera se retroalimentó al panel de expertos (expertos trabajando en forma grupal) con los resultados de la etapa anterior para que discutan y se llegue a un consenso en los resultados (Figura 3). En el equipo técnico inicial, además de los integrantes del comité asesor de la presente investigación, se contó con el apoyo de la oficina de coordinación de corredores biológicos a nivel nacional. El panel de expertos conformado fue bastante heterogéneo, integrado por representantes de organismos públicos y privados, instituciones académicas, instituciones dedicadas a la investigación, autoridades políticas y personas interesadas en el tema. Los criterios que se usaron para la selección de este panel fueron: relación con el manejo de los recursos naturales en el área de estudio específicamente y/o conocimiento experto en el tema de conservación de la naturaleza a nivel local o de país. La convocatoria, fue aceptada por 37 personas que participaron en al menos una de las dos etapas en las que se dividió la consulta (Anexo 1).

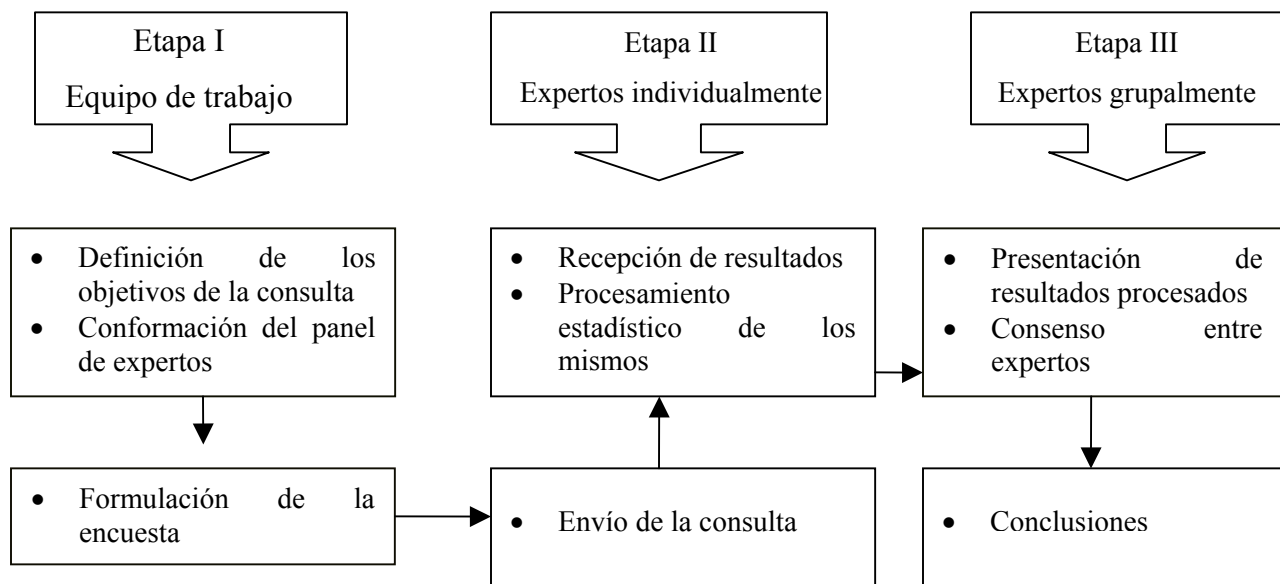


Figura 3. Metodología seguida para establecer los criterios y variables usados para el diseño de la red de conectividad.

La primera consulta se realizó a través de una encuesta compuesta por preguntas estructuradas para cada elemento de la red de conectividad a utilizar. La funcionalidad de la encuesta se probó primero con cinco expertos. Luego de realizar las modificaciones necesarias se envió la encuesta a todo el conjunto. Con los resultados obtenidos de la encuesta procesados estadísticamente se realizó un taller con el objetivo de presentar los resultados y llegar a un consenso con respecto a los criterios, variables y el modelo propuesto. El taller fue llevado a cabo en la localidad de Buenos Aires, provincia de Puntarenas con la participación de 22 de los expertos que participaron en la consulta.

3.2.1.3 Áreas protegidas y núcleos de hábitat prioritarios a conectar

La identificación de las áreas protegidas a conectar se realizó a través del procedimiento descrito en el punto anterior. Para ello se revisó todas las categorías de áreas protegidas legalmente existentes en el ámbito de estudio. El procedimiento de consulta en este caso tuvo la finalidad de verificar la viabilidad de las áreas protegidas a conectar y conocer la importancia para la conservación que a nivel local pudiera representar una determinada área protegida. De igual forma, los criterios, variables y sus rangos, descritos a continuación se fundamentan en el procedimiento de consulta mencionado.

Los núcleos de hábitat prioritarios para la conservación se identificaron en las áreas interiores mayores a dos ha, de los parches de cobertura natural (847 áreas interiores de parches de bosques y manglares). Para seleccionar los parches prioritarios se utilizó una aproximación de su valor para la conectividad estructural, utilizando un modelo de análisis multicriterio (adaptado de Hoctor et ál. 2000, Ramos Bendaña y Finegan 2006 y Murrieta 2005), donde se integraron el análisis del paisaje como indicador de la calidad de hábitat, una aproximación de su vulnerabilidad y el grado de amenaza de los mismos.

La forma y tamaño fueron las variables consideradas para el análisis de paisaje, estas dos variables provenientes directamente de la teoría de la biogeografía de islas fueron ampliamente aceptadas por los actores locales para identificar los núcleos de hábitat prioritario. Sin embargo, los que no estuvieron de acuerdo manifestaron que dada la escasez de parches en el paisaje es posible que existan parches con tamaños muy pequeños que puedan ser significativamente importantes para lograr la conectividad en ciertas áreas, debido a lo cual se aceptó para la identificación de los núcleos de hábitat prioritarios parches a partir de 2 ha (aunque con la mínima prioridad). Estas variables se estimaron a través de las siguientes métricas (McGarigal et ál. 2002):

- Área interior: fue calculada a partir de la resta del área de borde del área total del parche. El área de borde se determinó estableciendo una distancia de 100 metros desde el límite del parche hacia el interior. Se usaron 100 m de distancia basados en los resultados de investigaciones sobre efectos de borde en bosques tropicales, que muestran que los efectos microclimáticos y los disturbios por viento alcanzan esta distancia (Forero 2001).
- Forma: es el grado de complejidad del polígono (parche) y está basado en la relación área-perímetro.

En el modelo se consideró además una variable denominada tipo de cobertura, ligada directamente también al tamaño de parche, en el entendido que un parche más grande además de tener ventajas en cuanto a su persistencia y biodiversidad, tiene más probabilidades de ser un parche de bosque primario que un parche pequeño que podría ser una sucesión secundaria tardía (Cuadro 5).

Como indicadores de vulnerabilidad, se utilizaron el grado de representación de la altitud y la distancia a ríos. La variable altitud menos representada, fue escogida debido a que uno de los objetivos de esta red fue diseñar un corredor vertical. La calificación de los rangos de altitud se realizó con base en las investigaciones de Palmintieri et ál. (1999) donde a través de análisis de vacíos de conservación (GAP) identifica cuales altitudes se encuentran severamente amenazadas dada su falta de representación en el sistema de áreas protegidas de Costa Rica (Cuadro 5).

En cuanto a la variable distancia a ríos se usó una norma legal que establece una protección sobre los 15 metros al borde para áreas con pendientes leves y de 15 a 50 m para pendientes fuertes (Art 33 Ley 7575), pero en la práctica se aplicó para ambas categorías el mismo rango debido a que no estaban fijadas expresamente los grados de pendiente considerados leve y fuerte (Cuadro 5).

La densidad de poblados y la distancia a carreteras son variables que indicaron en el modelo el grado de amenaza a la calidad del hábitat, a pesar que en el área específica donde se desarrolló esta investigación no se encontraron estudios que demuestren esta relación, se hallaron investigaciones realizadas en otros lugares que demuestran una clara relación entre la deforestación y la variable población (Rossero-Bixby et ál 2002 y Mas 2005), y deforestación y la variable distancia a carreteras (Mas 2005). Finalmente el panel de expertos estuvo de acuerdo en incluirlas bajo los supuestos: un parche de bosque que se encuentra en un área con mayor densidad de poblados tendrá mayor amenaza con respecto a uno que se encuentra en un área donde no existen poblados y un parche de bosque estará más amenazado cuanto más cerca se encuentre de una carretera principal (Cuadro 5).

De las variables descritas, de acuerdo al criterio de los expertos la variable que más influencia la importancia de un núcleo de hábitat en este modelo fue el área del fragmento. Mientras que se consideraron menos importantes la distancia a las carreteras y la distancia a poblados. La prioridad de cada variable se transformó en la ponderación de la variable respectiva (Malczewski 1999). En el Anexo 3 se muestran el orden de prioridades de las variables y sus ponderaciones.

Cuadro 5. Criterios y variables usados para la identificación de los núcleos de hábitat prioritarios.

Criterio	Variable	Rangos de la variable	Escala de Valoración ³	Explicación
A mayor calidad del hábitat mayor prioridad	Cobertura y área interior del fragmento de bosque (ha)	2-20	6	A mayor tamaño de fragmento mayor calidad de hábitat.
		20-100	4	
		100-500	3	
		500-1.000	2	
		>1.000	1	
	Índice de forma	1,0 – 2,5	1	Los parches con forma más regular (circular) conservan mayor calidad de hábitat
		2,5 – 4,0	2	
4,0 – 5,5		3		
5,5 – 7,0		4		
7,0 – 8,5		5		
8,5 – 10,4		6		
Los hábitat más vulnerables son más prioritarios	Altitud (msnm)	0-500	4	Las áreas con altitud menos representada son más vulnerables y prioritarias
		500-1.000	1	
		1.000-1.500	2	
		1.500-2.000	3	
	Mas de 2.000	6		
	Distancia a ríos (m)	0-50	1		Los hábitat más cercanos a los ríos son más vulnerables.
50-100		2		
200-30.000		6		
Las áreas más amenazadas presentan menor calidad de hábitat por lo tanto son prioritarias.	Distancia a carreteras principales (m)	0-200	6	Los parches más cercanos a las carreteras principales están más amenazados
		200-500	4	
		500-1.300	3	
		1.300-2.000	2	
		2.000-52.000	1	
	Densidad de pueblos (pueblos/km ²)	0-0,05	1		A mayor densidad de pueblos mayor amenaza a la calidad de hábitat.
0,05-0,1		2		
0,1-0,15		3		
0,15-0,2		4		
0,2-0,25		5		
0,25-0,306		6		

³ Los rangos de las variables fueron recategorizadas en una escala del 1 a 6, siendo 1 para la mayor prioridad para la conservación.

El modelo utilizado para la integración de las variables descritas fue el promedio ponderado. Este procedimiento se realizó trabajando en formato *raster* (grid) a través de un sistema de información geográfica, utilizando el software *Arcview 3.3*, y su extensión *Model Builder* con su función *weighted overlay* (Figura 4). Esta función permite crear un mapa resultante por medio de la combinación de los valores de los mapas (de cada grid) de las variables que integran el modelo, para lo cual previamente se había llevado todas las variables a una misma escala de valoración (Cuadro 5). En este nuevo mapa el valor de cada píxel es el promedio ponderado de los valores correspondientes en los mapas que integran el modelo. Este valor representa su nivel de prioridad para la conservación, que esta entre uno y seis, uno para aquellos que son altamente prioritarias y seis para aquellos que no albergan ninguna prioridad. Los píxeles de cobertura natural con los valores de prioridad alta y muy alta se agruparon en una sola categoría y se separaron del resto constituyéndose en los núcleos de hábitat prioritario para la conservación. Este mapa de núcleos prioritarios para la conservación trabajado en formato *raster* se convirtió a formato vectorial, en donde se eliminaron todos aquellos núcleos que no alcanzaron las 2,0 ha establecidas como unidad mínima mapeable.

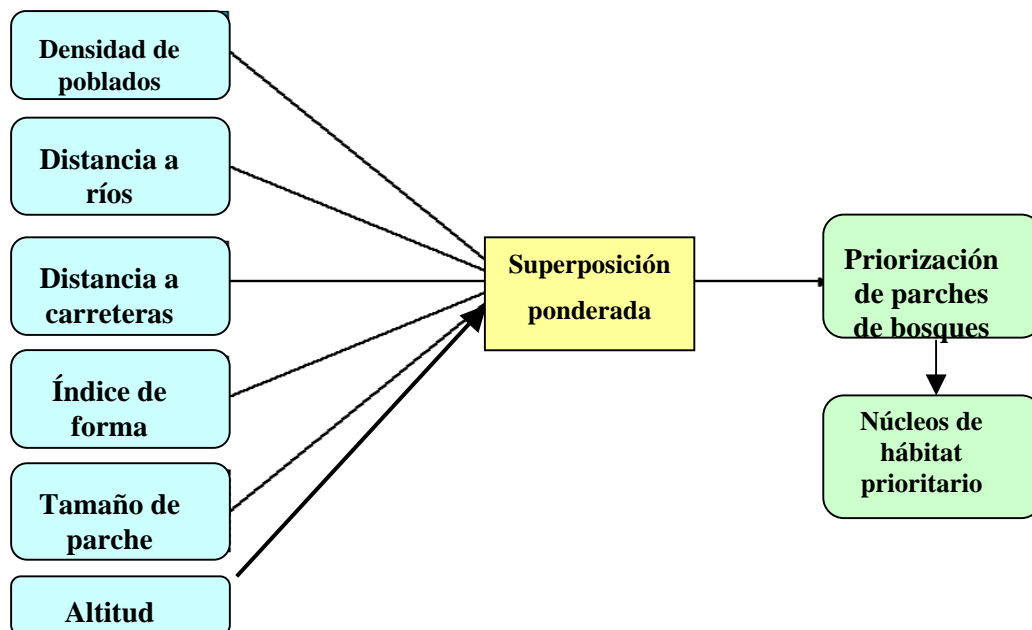


Figura 4. Modelo utilizado para la identificación de los núcleos de hábitat prioritarios.

Finalmente, para analizar la representación de las coberturas naturales priorizadas en los sistemas de áreas protegidas vigentes y propuestos en Costa Rica, se utilizó como criterio la representación de

los macrotipos de vegetación en estos (Gómez y Herrera 1986) y se contrastaron las superficies estimadas por macrotipo dentro de los núcleos de hábitat priorizados con las propuestas de conservación elaboradas por el estudio de Gruas I (García 1996).

3.2.1.4 Priorización de las unidades de paisaje presentes en el área de estudio de acuerdo a su valor para la conectividad estructural

En esta fase se estableció el valor para la conectividad de cada unidad básica de paisaje en toda la matriz entre las áreas protegidas identificadas y los núcleos de hábitat prioritarios con la finalidad de elaborar el mapa de fricción (entendiendo como unidad de paisaje, aquellas mínimas unidades de áreas que comparten las mismas características para todas las variables a utilizar). En este modelo se asume que mientras mayor es el valor para la conectividad estructural menor es la dificultad al desplazamiento para las especies silvestres. El modelo final, las variables que lo componen, los rangos definidos para cada variable y su contribución al modelo se precisaron utilizando el mismo procedimiento de consulta a expertos realizado para el elemento anterior.

Las variables escogidas correspondieron a los criterios: priorizar las unidades de mayor calidad de hábitat, y disminuir la prioridad de acuerdo al nivel de amenaza. Asimismo, durante el proceso de consulta se eliminó la variable pendiente por considerarse que no representaba adecuadamente el criterio del cual era indicador en este modelo.

Las variables que representaron el criterio de “*a mayor calidad de hábitat menor dificultad al desplazamiento y por lo tanto mayor prioridad para la conservación*” fueron:

- **Cobertura** se consideró como la principal variable que determina la función ecológica que una unidad de paisaje puede brindar a los organismos. Representa una primera forma de aproximarse a la calidad del hábitat y a su vez da una idea general de la presencia potencial de biodiversidad (por ejemplo es relativamente fácil predecir que existen más especies en un bosque que en un sistema agroforestal). En forma práctica esta variable es fácil de determinar en el terreno a través de imágenes satelitales o fotos aéreas.

La variable cobertura fue estimada mediante la agrupación en 15 categorías de las 64 clases de cobertura de los mapas de ecosistemas del Proyecto Ecomapas (INBio et ál. 2002 y 2005), de acuerdo a una adaptación de la taxonomía de clases realizada por la FAO et ál. (2001) (Anexo 4). Estas 15 categorías fueron luego priorizadas durante el proceso de consulta, considerándose como restringidas a las coberturas de cultivos intensivos (piña, plátano y arroz), suelo desnudo e

infraestructura por donde no debía pasar la red de conectividad de ningún modo para lo cual se les asignó un valor muy alto de fricción en el modelo (Cuadro 6).

Cuadro 6. Criterios utilizados para establecer la dificultad al desplazamiento.

Criterio	Variable	Rangos de la variable	Escala de valoración ⁴	Explicación
A mayor calidad de hábitat menor dificultad al desplazamiento por lo tanto mayor prioridad	Cobertura	Bosque, manglares y otros humedales	1	Las coberturas naturales ofrecen menor dificultad al desplazamiento Debido a que el hábitat natural en estas áreas esta destruido se consideró que la red no debía pasar por esos lugares aplicando un valor de fricción que restringe el paso por estas áreas
		Matorrales (charrales y tacotales)	2	
		Pasto con árboles, café con sombra y plantaciones	3	
		Cultivo permanente (palmas)	4	
		Cultivos anuales (piñas)	Restringido	
		Suelo desnudo, infraestructura	Restringido	
	Distancia a Ríos	Los mismos valores y explicación que en la priorización de núcleos de hábitat (ver Cuadro 5)		
A menores amenazas menor dificultad al desplazamiento por lo tanto mayor prioridad	Conflicto de uso agronómico	Subuso	1	El sobreuso representa una amenaza para la conservación del hábitat.
		Uso adecuado	3	
		Sobre uso	6	
		No aplica	Restringido	
	Distancia a carreteras			
	Densidad de poblados	Los mismos valores y explicación que en la priorización de núcleos de hábitat (ver Cuadro 5)		

- **Distancia a ríos**, los ríos fueron considerados en el área de estudio como una vía natural de la conectividad entre ambas zonas (ACOSA y ACLA-P) y la segunda variable en orden de importancia, puesto que además de servir de abrevaderos para especies silvestres, transportan semillas y a otras especies que viven en él. Además, por lo general los márgenes de los ríos

⁴ Los rangos de las variables fueron recategorizadas en una escala del 1 a 6, siendo 1 para la menor dificultad al desplazamiento y 6 para la más alta dificultad. Para los rangos de las variables restringidos se aplico un valor de 100000.

mantienen bosques de galería que albergan alta biodiversidad. La propuesta inicial que propuso considerar a los ríos como barreras fue desestimada por los expertos locales, mencionando que aún en el caso del río más amplio, que es el Terraba, si no fuera posible que ciertas especies lo crucen, se consideraría esto como algo natural que no afectaría una propuesta de red. En ese sentido, si la red atravesase este río a través de esta división natural tendría dos sectores (Cuadro 6).

Las variables que representaron el criterio de “*a menores amenazas menor dificultad al desplazamiento por lo tanto mayor prioridad*” fueron:

- ***Distancia a carreteras***, junto a densidad de pueblos y conflicto de uso agronómico, variables relacionadas directamente con las actividades económicas del hombre fueron consideradas en tercer lugar. Considerar rutas de conectividad lo más alejadas posible de las carreteras puede ser un factor importante para reducir la mortalidad de fauna por accidentes de tránsito, que son muy comunes en la región sur del país. Por otro lado hay un supuesto implícito que la cercanía a una carretera influye en la disminución de la calidad del hábitat por las actividades de explotación y uso de la biodiversidad, así como contaminación tanto del aire como del agua.
- ***Densidad de poblados***, al igual que la anterior, intenta medir el grado de amenaza sobre el hábitat por las actividades antrópicas de explotación y uso de la biodiversidad. Sin embargo, se consideraba que para ajustar esta variable como indicador del grado de amenaza, debería considerarse el tamaño de cada población, su patrón de crecimiento y las actividades productivas características. Por razones de tiempo, en esta fase de la investigación no se hicieron estos ajustes, sin embargo se tomó en consideración el crecimiento poblacional en los análisis posteriores de la estabilidad de la estructura del paisaje (Cuadro 6).
- ***Conflicto de uso***, fue un indicador bastante controversial debido a que está basado más en criterios agronómicos que en ecológicos; sin embargo se tomó en cuenta porque es también un indicador de la facilidad o dificultad para restaurar un ecosistema de acuerdo al uso que ha sido sometida un área. Además, no se utilizó en forma aislada sino conjuntamente con los demás criterios señalados. Esta capa se generó con base en la sobreposición de las capas de uso actual (utilizando las 15 categorías de cobertura agrupadas con base en el mapa de ecosistemas de Ecomapas) y capacidad de uso (Fundación Neotrópica y CCT 1994), con la función *Map calculator* de *Arc view 3.3*. En el Anexo 5 se aprecia la matriz de conflicto de uso que se

elaboró para definir las áreas que estaban en sobreuso, uso adecuado y subuso de acuerdo a su capacidad de uso y uso actual (Cuadro 6).

El cálculo de las ponderaciones se realizó del mismo modo que al establecer los núcleos de hábitat prioritario (Anexo 6). Para integrar las variables se usó también el modelo de promedio ponderado, utilizando para su estimación la misma función *weighted overlay* de la extensión *Model Builder* de *Arcview* 3.3, utilizada para la identificación de los núcleos de hábitat prioritarios para la conectividad (Figura 5).

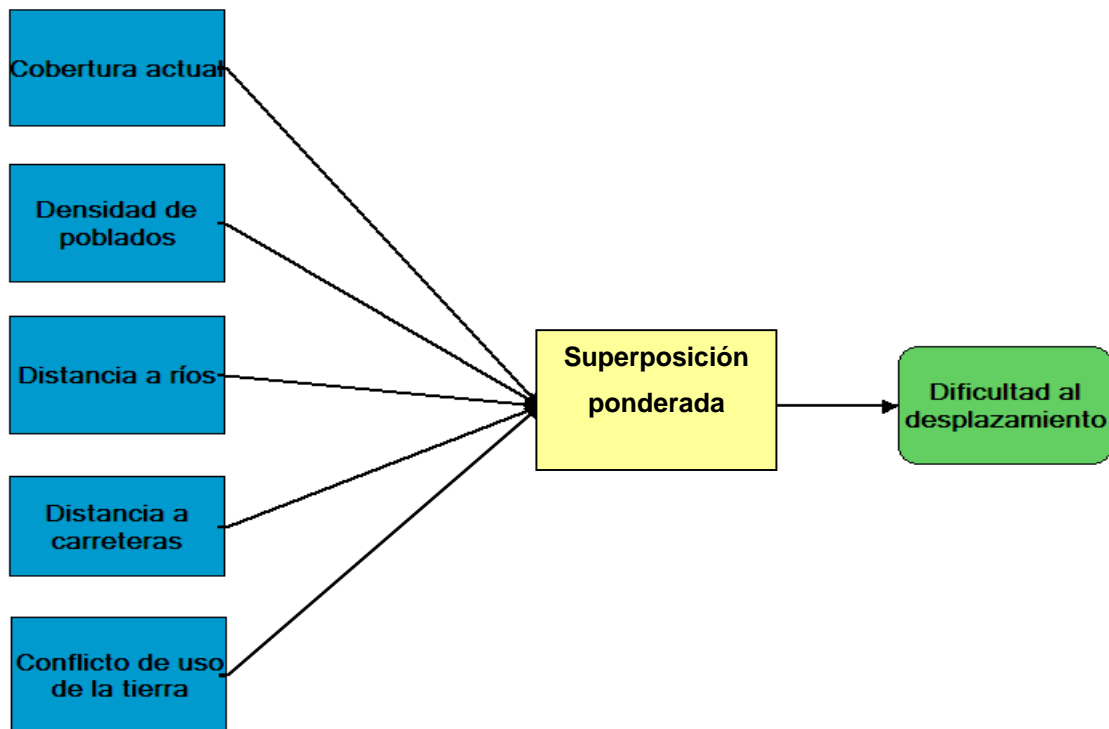


Figura 5. Modelo utilizado para establecer la dificultad al desplazamiento en cada unidad de área en la matriz.

3.2.1.5 Modelación de la red de conectividad biológica

La red de conectividad biológica potencial modelada se diseñó bajo el supuesto que entre los núcleos prioritarios de hábitat, existen una o varias rutas que implican menores dificultades al

desplazamiento para las especies. Para la modelación de esta red se utilizó el software *Arcview 3.3*, su extensión *Cost Distance* y su función *Cost Path* (Hoctor 2000, Ramos Bendaña y Finegan 2006 y Murrieta 2005). El cual creó una superficie de costos utilizando un punto de origen (El Parque Internacional La Amistad) y los valores de dificultad al desplazamiento establecidos para cada unidad de área de la matriz. Utilizando nuevamente el punto de origen, la superficie de costos creada y varios puntos destino (los núcleos de hábitat prioritarios para la conectividad), el programa traza las redes de conectividad desde el punto de origen a los destinos por las rutas con menor dificultad al desplazamiento.

La intención de esta red es conectar el Parque Internacional La Amistad con las áreas protegidas de ACOSA, por ello el punto de origen se colocó en esta área protegida. La ubicación exacta del punto de origen fue el punto medio del límite de esta área protegida con el área de estudio. Para obtener los puntos destino se calculó el centroide de los núcleos de hábitat prioritario establecidos, a través del programa *Arcview 3.3* y su extensión *Xtools*. Para los valores de dificultad al desplazamiento se plantearon dos escenarios: uno directo utilizando el mapa proveniente de la ponderación de variables explicado en el punto anterior y el otro reasignando cada valor a través de una transformación logarítmica (Cuadro 7). La transformación a valores logarítmicos se realizó de acuerdo al criterio que pasar de un nivel de fricción al otro representaba una dificultad logarítmicamente mayor para el desplazamiento de las especies, criterio adaptado del usado en el trazo de la red de conectividad en el Corredor Biológico San Juan La Selva (Ramos Bendaña y Finegan 2006).

Se trazó una red de conectividad estructural, para cada escenario de valores de dificultad al desplazamiento, utilizando el mismo punto de origen y los mismos núcleos prioritarios para la conectividad. Las propuestas de rutas de conectividad potencial resultan de la combinación de las áreas núcleos identificadas con cada trayectoria de conectividad potencial modelada.

Para seleccionar entre los valores originales o logarítmicos se estudió la posible asociación entre el hecho de pertenecer a uno de los modelos y la situación actual de la conectividad estructural, representada por la distribución del paisaje por usos de la tierra, a través de una prueba de Chi-cuadrado. Esta prueba permitió encontrar si las probabilidades de pertenecer a una determinada categoría de uso de la tierra son diferentes en la zona de amortiguamiento del modelo logarítmico que en el modelo con valores originales. Para esto se trazó un área de amortiguamiento de 200 metros de ancho para cada una de las redes (se estableció el mismo ancho usado por Murrieta

(2005) con fines de comparación), donde se calcularon las superficies por cada uso de la tierra en hectáreas, tomándose este dato como las frecuencias absolutas de cada uso de la tierra por cada modelo. Estas frecuencias fueron procesadas a través del programa SAS.

Finalmente se seleccionó el ramal de la red de conectividad sobre la cual se realizaría el análisis de estabilidad ante el cambio de uso de la tierra siguiente etapa. Esta selección se realizó mediante el análisis de las estadísticas de cada ramal que conformaba la red y un análisis visual para identificar el ramal que cumplía el objetivo de la investigación que es conectar la Reserva de Biosfera la Amistad con las áreas protegidas de ACOSA.

Cuadro 7. Dificultad al desplazamiento para calcular el mapa de superficie de costos.

Calidad de hábitat en la matriz	Fricción o grado de dificultad	Valores originales asignados	Reasignación de valores logarítmicos
Muy alta	No hay	1	1
Alta	Muy baja	2	10
Mediana	Mediana	3	100
Pobre	Alta	4	1.000
Muy pobre	Muy Alta	5	10.000
Destruído	Restringido ⁵	6	100.000

3.2.2 Etapa 2: Dinámica del uso de la tierra en el área de influencia de las redes de conectividad biológica estructural diseñadas

3.2.2.1 Generalidades

El área de estudio en esta etapa de la investigación fue de 444.437 ha, que fue ampliada con respecto a la etapa anterior por la incorporación de la Zona Protectora Las Tablas, ampliación que fue acordada durante la fase de consulta a expertos, debido a las características de esta área protegida de atravesar por una etapa de transición hacia la categoría de Parque Nacional, debido a lo cual se deseaba conocer cual es la dinámica del uso del suelo en esta área y si es favorable para esta categoría más estricta.

El objetivo de esta fase fue establecer criterios para identificar la red de conectividad más estable en el tiempo a través de la modelación de los cambios espaciales y temporales de uso de la tierra en los escenarios de rutas de conectividad biológica planteados entre la Reserva de Biosfera La Amistad y

⁵ Tiene la misma explicación que las restricciones a las coberturas cultivos anuales intensivos e infraestructura, que se explica en el Cuadro 6, acápite 3.2.1.4

las áreas protegidas del Área de Conservación Osa. Para ello se tomó en cuenta un período total de 16 años. La metodología comprendió el análisis de tres escenarios temporales de uso de la tierra (1987, 1997 y 2003) y la estimación de los cambios entre los periodos 1987-1997, 1997-2003 y en el período que los agrupa 1987-2003.

Para realizar la detección de los cambios de uso de la tierra se utilizó una metodología de detección de los cambios posclasificación con base en imágenes satelitales. Esta metodología implica realizar primero la clasificación en usos de la tierra de cada imagen satelital en forma independiente y luego analizar los cambios entre períodos. En estas clasificaciones se produjeron mapas categóricos que cuantificaron la variabilidad en el paisaje identificando parches que son relativamente homogéneos y que exhiben una relativamente abrupta transición con las áreas adyacentes (Gustafson 1998), los que se denominaron para fines de este estudio como “usos de la tierra”.

Antes de proceder a realizar el análisis multitemporal se procedió a eliminar todos aquellos parches clasificados menores a 20 ha, haciendo que los segmentos menores a esta área se unieron a los más grandes. El cambio de escala para este análisis se debió a que al revisar las tres imágenes durante el procedimiento de posclasificación se encontró que en áreas más pequeñas los cambios podrían deberse más a los errores de desplazamiento de las imágenes que a verdaderos cambios.

El análisis multitemporal comprendió la comparación de la estructura del paisaje entre los tres escenarios temporales (años estudiados), la estimación de los cambios de cada clase de uso de la tierra con respecto al año base en cada período analizado y la modelación de los patrones de cambio de uso de la tierra a través de la estimación de las probabilidades de cambio de uso (Arroyo-Mora et ál. 2005, Baritto 2000, Bermúdez et ál. 2002, Méndez 2001, Hernández 2003). A continuación se describen los procedimientos llevados a cabo.

3.2.2.2 Clasificación en usos de la tierra de las imágenes satelitales

a) Información base

Los criterios para seleccionar los tres años evaluados fueron disponibilidad y calidad de imágenes satelitales; y la intención de comparar dos períodos de tiempo con diferente configuración a nivel social, político y económico. Para el año 1987 se tomó la información disponible en la página *web*

de Glovis⁶. El año 2003 se seleccionó por ser el último año en el que el satélite Landsat ETM pudo captar imágenes sin errores de bandeo con la finalidad de tomar la mejor calidad de información reciente. Para el período intermedio se tomo en cuenta el año 1997, en el cual se inició la implementación de los cambios políticos importantes que se dieron a nivel de Costa Rica en cuanto a control, e incentivos para protección de bosques (Ley forestal 7575 del año 1996); además estudios anteriores encontraron marcadas diferencias entre los dos períodos (Arroyo-Mora et ál. 2005, Bermúdez et ál. 2002, Méndez 2001 y Rossero-Bixby et ál. 2002). En la selección de las imágenes se cuidó también que la cobertura de nubes fuera menor al 20%. Como referencia para la clasificación de las imágenes se utilizaron imágenes Spot, fotografías aéreas de fechas lo más cercano posible a las fechas de las tomas de cada imagen utilizada (Cuadro 8).

Cuadro 8. Información básica de los escenarios analizados para la estimación del cambio de uso de la tierra.

Escenario	Tipo de sensor	Fecha de la toma	Resolución original (m)	Información de referencia
1987	Imagen satélital Landsat 5TM Path 14, Row 54	17/01/1987	28.50	Fotografías aéreas en blanco y negro del año 1980 a 1992
1997	Imagen satélital Landsat 5TM Path 14, Row 54	17/03/1997	30.00	Fotografías aéreas a color del año 1997 al 1999
2003	Imagen satélital Landsat 7 ETM Path 14, Row 54	21/01/2003	28.50	Fotografías aéreas infrarrojas del año 2003 al 2005 Imágenes Spot 2002 correspondientes a las áreas de Buenos Aires y Golfito

La imagen 2003 fue adquirida ya proyectada al sistema local de coordenadas Costa Rica Transversal Mercator (CRTM). La imagen 1997 fue cedida por el FONAFIFO con el sistema de coordenadas en CRTM, y la de 1987 fue re proyectada a CRTM de su proyección original con el programa ERDAS IMAGINE 8.5, utilizando para la re proyección el algoritmo del vecino más cercano. En el Anexo 7 se indican otros datos técnicos de las imágenes utilizadas.

Se utilizaron tres programas para el procesamiento digital de las imágenes, cada uno en diferentes

⁶ <http://glovis.usgs.gov/>

etapas del proceso de acuerdo a las ventajas que brinda cada uno de ellos, los cuales fueron Erdas Imagine 8.5 (en el pre- y postprocesamiento), *The Environment for Visualizing Images* (ENVI) versión 4.0 (en la clasificación propiamente dicha), y Arcview 3.3^a (para la digitalización de la información de referencia y corrección manual postprocesamiento).

b) *Preprocesamiento de las imágenes satelitales*

Las tres imágenes recibidas tuvieron un nivel de corrección inicial 1G⁷ (Strande 2003). No obstante con la finalidad de homogeneizar más la información con fines de efectuar comparaciones entre los tres escenarios analizados se realizaron dos tipos de correcciones: espaciales (geométricas) y espectrales (radiométricas). Luego, para cada año se incorporó información auxiliar con el objetivo de contribuir a una mejor discriminación de las categorías de uso de la tierra establecidas en esta fase de la investigación.

Las correcciones espaciales se efectuaron con la finalidad que las tres imágenes se superpusieran geográficamente píxel por píxel (APN y SIB 2005). Para lo cual se estandarizó el tamaño del píxel de las tres imágenes Landsat a 28,5 metros de lado. La corrección geométrica para la primera imagen trabajada utilizó como referencia las carreteras en formato vectorial a escala 1/25.000 del Proyecto Terra, luego las otras imágenes se ajustaron a la primera. El procedimiento se repitió dos veces con la finalidad de minimizar lo más posible el error de detectar cambios por el desplazamiento entre imágenes. Debido a la topografía accidentada de la zona no se pudo alcanzar una corrección exacta píxel por píxel, alcanzando un error variable entre menos de un píxel, en las zonas planas, a aproximadamente dos píxeles en las zonas más accidentadas. Finalmente, las tres imágenes satelitales fueron “recortadas” con base en el área de estudio evaluada durante la primera fase de la investigación. Las correcciones espectrales consistieron en estandarizar las texturas (tono) de las seis bandas analizadas de las tres imágenes satelitales utilizadas (Coburn y Roberts 2004 y Eastman 2005). Este procedimiento consistió en la aplicación de un filtro de texturas que estima para el píxel central evaluado los valores medios de los píxeles vecinos.

La información auxiliar utilizada fue la altitud a través del modelo de elevación digital (MED), la exposición (aspecto derivado del MED), el índice de vegetación (NDVI) y el *Tasseled Cap*

⁷ Las tres imágenes fueron recibidas rotadas, alineadas y georeferenciadas con un nivel de corrección 1G o corrección sistemática, el cual incluye una corrección geométrica y radiométrica realizada por el proveedor de las imágenes.

Transformation (TCT). El cálculo del TCT se ejecutó para las tres imágenes como si se tratara de una imagen Landsat TM. Con la información auxiliar mencionada y las bandas 1,2,3,4,5 y 7⁸ de las imágenes satelitales se construyeron tres nuevos archivos multibanda, correspondientes a los tres escenarios analizados. El NDVI es un índice que indica la vegetación verde que existe, es estimado a través de la combinación de las bandas rojo, e infrarrojo cercano de una imagen satelital. El TCT es una transformación ortogonal de los datos aplicada para calibrar la reflectancia de la imagen. Con esta información auxiliar y las bandas 1,2,3,4,5 y 7 de cada imagen satelital se construyeron tres nuevos archivos multibanda.

c) Clasificación digital de las imágenes satelitales

Antes de proceder a la clasificación propiamente dicha, se creó una “máscara” en forma semiautomática para separar las nubes y las sombras de cada imagen debido a que creaban confusión con los cuerpos de agua (las sombras) y con algunas zonas que tienen mucho brillo (las nubes). Mediante este procedimiento la clasificación se realiza en toda el área menos en el área bajo la “máscara” que se convierte automáticamente en “nubes y sombras”.

La clasificación propiamente dicha se realizó por el método de clasificación supervisada, mediante el algoritmo de máxima verosimilitud (*maximum likelihood*). Para la selección de los sitios de entrenamiento se utilizaron como referencia las imágenes SPOT y las fotografías correspondientes al año más cercano a la toma de cada imagen (Cuadro 8). Debido a que para el año 1987 no existían fotos disponibles cercanas se eliminaron los sitios en los bordes y se seleccionaron como sitios de entrenamiento sólo aquellos que se ubicaban en áreas homogéneas que, comparando con los años 1997 y 2003, no hubieran cambiado. En la Figura 6 se muestra el procedimiento seguido.

Se clasificó primero la imagen correspondiente al año 2003. Inicialmente se identificaron y codificaron 28 usos de la tierra (clases informacionales) con el apoyo de la información de la clasificación de Ecomapas (INBio 2002 y 2005). Se verificó que cada clase fuera distinguible a través de las fotografías aéreas y que a la vez tuviera características visiblemente diferentes en la imagen satelital. El caso del café, para evitar errores en la identificación de los sitios de entrenamiento, se seleccionaron los sitios sobre las fotos aéreas en lugares que habían sido

⁸ No se utilizó la banda 6 de ninguna de las imágenes por no aportar información relevante para este estudio.

identificados como esta categoría en el mapa de cobertura de café preparada para el Instituto Costarricense del Café (CATIE 2003).

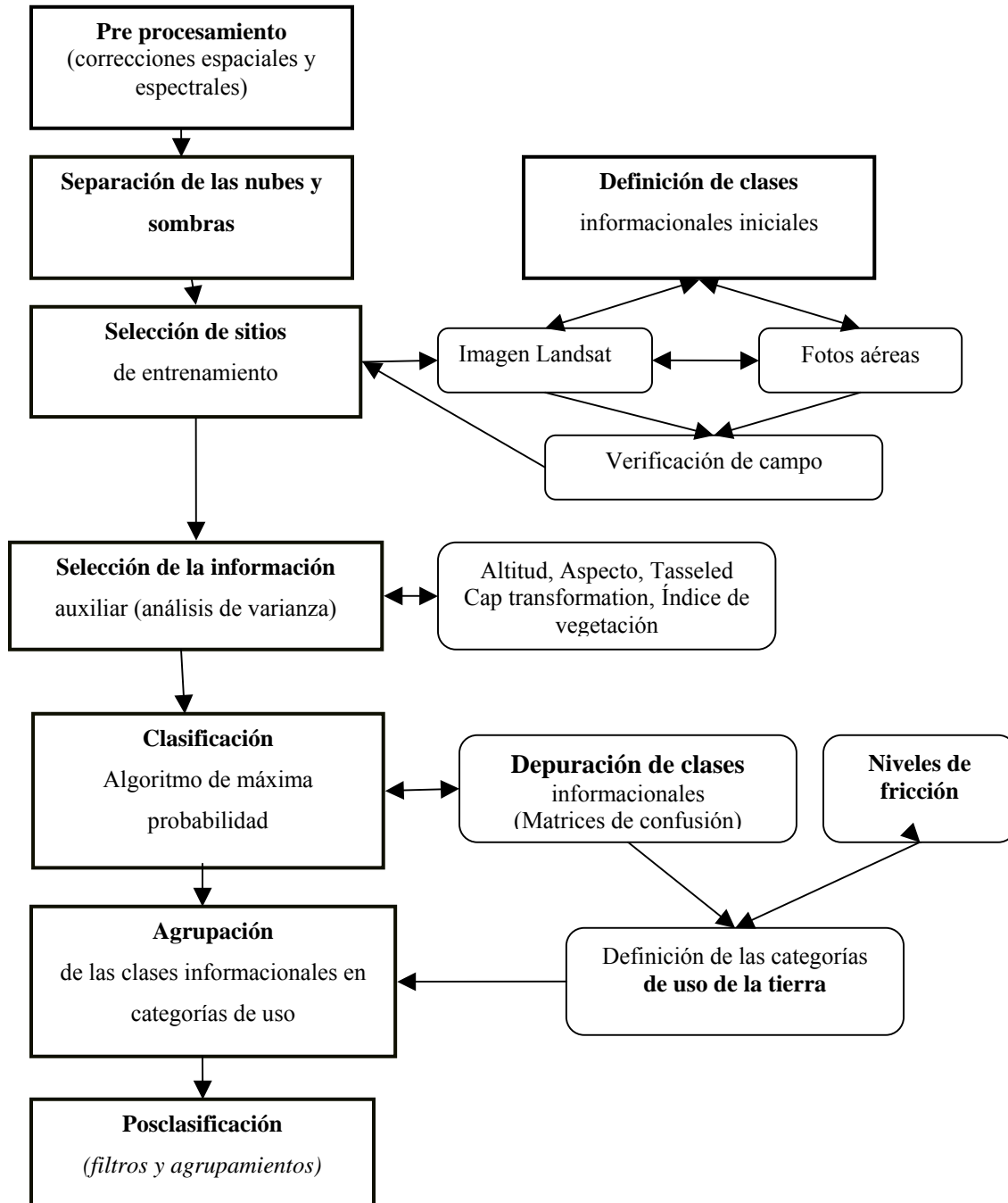


Figura 6. Procedimiento seguido para la clasificación de las imágenes satelitales Landsat.

Con apoyo de la impresión de un mapa preliminar se pasó a la evaluación en campo del 25 % de los sitios de entrenamiento, tomando en cuenta que todas las clases informacionales fueran comprobadas utilizando un Geoposicionador (GPS). Para comprender mejor las diferencias espectrales dentro de una misma clase se realizaron entrevistas no estructuradas con actores locales para conocer los ciclos estacionales, fases y rotaciones de los cultivos principales en el área de estudio. A continuación, por medio de una selección aleatoria, el 75 % de los 400 sitios de entrenamiento codificados fueron exportados al programa ENVI convirtiéndolos en los sitios de entrenamiento conocidos en el lenguaje del programa como regiones de interés (ROIs⁹). Estos sitios fueron nuevamente revisados quedando solo 269 ROIs.

Para evaluar el error de cada clasificación se compararon las imágenes clasificadas con los mismos sitios de entrenamiento que sirvieron para realizar su clasificación a través del programa ENVI. Este programa calcula la matriz de confusión entre categorías, la precisión general de la clasificación (número de píxeles correctamente clasificados con respecto al número total comparado), los errores de comisión y omisión por cada categoría de uso, la precisión del productor (porcentaje de área “real” de una categoría que ha sido asignada a la categoría adecuada) y la precisión del usuario (porcentaje de área representada en una categoría que ha sido correctamente clasificada) (Congalton y Green 1999). La matriz de confusión es una matriz bidimensional donde las filas representan las clases de referencia (cobertura real) y las columnas las categorías resultantes de la clasificación. La diagonal en esta matriz representa los píxeles que han sido correctamente clasificados, mientras los marginales son los errores de asignación (Congalton y Green 1999).

Para seleccionar la información auxiliar que se usaría en las clasificaciones de las tres imágenes se realizaron pruebas con la imagen del 2003, utilizando los mismos sitios de entrenamiento en todas las pruebas. Primero utilizando solo las bandas espectrales de la imagen Landsat, luego se fueron agregando el MED, el aspecto, el TCT y el NDVI. Cada prueba se hizo para toda la imagen y para la imagen excluyendo la firma del café y el área de café elaborado por el CATIE para el ICAFE (digitalizado sobre fotografía aérea de 1997 al 1999 y comprobación de campo en el 2000). Se compararon las precisiones generales de las clasificaciones utilizando diferentes tipos de información auxiliar, con presencia o ausencia de la sección de café y con un filtro posclasificación

⁹ Las regiones de interés son áreas seleccionadas de la imagen usadas para extraer las estadísticas de las diferentes capas que componen el archivo de la imagen con fines de clasificación (RSI 2003).

y sin él. En el análisis de varianza se encontró que existían diferencias estadísticas entre las clasificaciones realizadas con diferentes tipos de información auxiliar ($p < 0,0001$); que existía interacción entre la presencia de café y las capas de información auxiliar utilizadas ($p < 0,0001$) y entre la presencia de café y el uso de filtros ($p < 0,0001$) y entre la información auxiliar utilizada y el uso de filtros ($p < 0,0001$). En la prueba de comparación de medias de LSD Fisher para un $\alpha = 0,05$ se demostró que la precisión de la clasificación era mayor cuando se adjuntaban a la imagen Landsat, el TCT, el MED y el aspecto. Con respecto a la separación del café se encontró (cuando se clasificaba la imagen incluyendo la información auxiliar mencionada) que no existían diferencias significativas en cuanto a la precisión general por el uso de la capa del café o su exclusión, de lo que se deriva que la precisión en la clasificación de la categoría “café” no difiere del promedio de las precisiones para las otras categorías consideradas, pues su inclusión no cambia la precisión general de la clasificación. Además al contar con información de la superficie de “café” sólo para un año, si se lo separaba no se hubiera podido comparar los cambios en esta clase, razones por las cuales se decidió no separar el “café”. Asimismo, se encontró que el uso del filtro mejoraba la precisión de la clasificación de la imagen con la información auxiliar mencionada, debido a lo cual se optó por aplicar este procedimiento (Anexo 8).

Después de definir las capas de información a utilizar conjuntamente con la imagen Landsat para realizar las clasificaciones, se realizó el análisis individual por cada clase informacional definida utilizando la matriz de error o confusión. Se descartó el uso de aquellas clases que presentaban errores mayores al 30 %, entre las que se encontró el bosque ralo y el bosque ralo de *Atalea* sp. (que se confundían con los bosques y charrales), el pasto con sombra (que se confundía con los charrales y los pastos) y la clase pejibaye que presentaba confusión con varias clases. Debido a que en la matriz de confusión estas clases estaban asociadas con varias clases consideradas de muy diferente fricción no fue posible agruparlas en las nuevas categorías, descartándose los sitios de referencia de estas clases.

Al clasificar nuevamente la imagen y evaluar la matriz de confusión se encontró que algunas clases presentaban aún confusión entre sí. Las clases que presentaban mayor confusión fueron el bosque con los charrales y el café; el arroz con el banano; las plantaciones de melina con los matorrales de *Atalea* sp., charrales y la palma de aceite; los pastos con todas las variedades de pastos y con los charrales; el café con los charrales, bosques y pastos; y los charrales con los bosques y pastos.

Con la información sobre las clases con mayor afinidad o confusión entre sí y tomando en cuenta los criterios definidos en la primera fase en cuanto a los niveles de fricción se agruparon las 24 categorías clasificadas en 10 clases de uso de la tierra (Cuadro 9). En el Anexo 9 se presenta la matriz de confusión final para la clasificación de la imagen 2003, agrupada y filtrada.

Cuadro 9. Categorías de uso y cobertura de la tierra establecidas.

Categorías iniciales	Categoría Final	Descripción
Bosque	Bosque	Bosques primarios y secundarios. También podrían incluirse plantaciones mixtas “abandonadas”.
Bosque denso de <i>Symphonia globulifera</i> Bosque de yolillo (<i>Raphia taedigera</i>) Pasto húmedo y matorral de <i>Acrostichum aureum</i> (Negra forra)		
Manglares Matorral denso arbolado de <i>Symphonia globulifera</i>	Manglares	Manglares y otras asociaciones vegetales en terrenos inundados y parcialmente inundados de diferentes composiciones y estructuras
Charrales y tacotales Matorral con <i>Attalea sp.</i> Plantaciones variadas Plantación de <i>Gmelina arborea</i>	Charrales, tacotales y plantaciones	Sucesión secundaria en áreas de cultivo y pastos abandonados, matorrales con <i>Attalea sp.</i> y plantaciones de <i>Gmelina arborea</i> , <i>Tectona grandis</i> , <i>Terminalia amazonia</i> y otras especies forestales
Café	Café	Cafetales con sombras desde plátano, hasta combinaciones con <i>Terminalia amazonia</i>
Palma de aceite <i>Elais oleifera</i>	Palma de aceite	Cultivo de palma de aceite <i>Elais oleifera</i>
Pasto con <i>Attalea</i> Pasto con coyol Pasto Area quemada para pastos Caña de azúcar y otros cultivos	Pastos y caña de azúcar	Cultivo intensivo de pastos para forraje, áreas quemadas que se regeneran en pastos, pastos en sistemas agroforestales con cercas, árboles dispersos en potrero y en grupos, pastos con <i>Attalea sp.</i> , caña de azúcar y otros cultivos menores que no se diferencian en la imagen como frejoles, yuca, etc.
Plátano y banano Arroz Otros cultivos en áreas grandes	Cultivos agrícolas intensivos	Monocultivos agrícolas intensivos diferentes a la piña
Piña	Piña	Cultivo intensivo de piña
Cuerpo de agua	Cuerpos de agua y suelo desnudo	Ríos, esteros y lagunas y suelos desnudos al borde de los ríos
Suelo desnudo Infraestructura	Infraestructura	Centros poblados

Para la imagen del año 1997, se utilizaron aproximadamente el 90% de los sitios de entrenamiento usados para la clasificación de la imagen del año 2003, debido a que al revisar cada sitio con las fotografías aéreas de 1997 a 1999 se encontraron aproximadamente un 10% de cambios en el uso del suelo en las áreas utilizadas como sitios de entrenamiento. Se repitió el procedimiento de

revisión de los sitios de entrenamiento para la imagen correspondiente al año 1987, utilizando las fotografías aéreas entre 1980 y 1992, renovando aproximadamente el mismo número de sitios por cambios detectados en la imagen con respecto al otro período. Adicionalmente para esta imagen se tuvieron problemas con las áreas quemadas, los charrales y las plantaciones por no tener fotos del año de la imagen y la alta tasa de cambio de estas coberturas. En estos casos se usó como sitio de entrenamiento el centro de las poligonales de las coberturas que se hubieran mantenido constantes en los otros períodos, para evitar utilizar una referencia de una zona que ya hubiera cambiado.

d) Posclasificación

A las imágenes clasificadas se les aplicó un filtro, en el programa ENVI 4.0, con el objetivo de cambiar aquellos píxeles aislados que se encuentran dentro de una clase diferente hacia esa clase (RSI 2003). Luego se exportó esta clasificación para ser usada en el programa ERDAS Imagine 8.5 con la finalidad de realizar los procesos de posclasificación. En este programa se identificaron y agruparon los píxeles de la misma clase que se encontraban adyacentes (*clump*), este procedimiento en este programa genera un código para cada agrupación en el archivo de la imagen, que permite luego realizar los demás procedimientos del post procesamiento. Después se realizó una revisión visual de las imágenes clasificadas para detectar las inconsistencias de la clasificación, superponiendo las clasificaciones de los 3 años, y revisando en las fotos aéreas con la información tomada en campo en zonas de dudas. Se detectó que el área clasificada como “charrales” abarcaba demasiada área de pastos. Por ello se hizo una reclasificación haciendo una máscara solo para esta categoría, separando nuevamente una sección de pastos. Luego se editaron manualmente los errores gruesos más notorios comprobados con las fotos aéreas e información de campo, por ejemplo la clasificación como infraestructura de ciertas zonas que son evidentemente pastos.

3.2.2.3 Análisis multitemporal

3.2.2.3.1 Cambios en la estructura del paisaje

Para analizar las variaciones de la estructura del paisaje en el período de estudio, se estimaron las métricas definidas por McGarigal et ál. (2002) para cada año, a nivel de paisaje y clase, para lo cual se utilizó el software *Arcview 3.3* y la extensión *Patch Analyst (2.3)*. Las métricas a nivel de clase toman en cuenta todos los parches en una clase determinada, mientras que las métricas a nivel de paisaje toman en cuenta todas las clases de parches sobre todo el paisaje. Ambas tienen índices que se estiman mediante el promedio ponderado de las métricas por parche y otros que intentan reflejar

la configuración del mosaico de parches. Independientemente del nivel al que corresponden las métricas que se tomaron se pueden agrupar en:

- Tamaño y densidad. Tamaño es el área en hectáreas de los parches Para las métricas a nivel de clase refleja el promedio de los parches de una clase, y para el paisaje considera el promedio de todas las clases. Para estimar la densidad se consideraron el número de corazones de parches (áreas interiores de los parches) por cada 100 ha.
- Proximidad, contagio y dispersión. La proximidad está basada en la distancia al vecino más cercano, la cual es definida como el trayecto lineal desde el parche de interés hasta el parche más próximo del mismo tipo. El contagio se refiere a la tendencia de tipos de parches a estar espacialmente agregados, es decir a que tan continuos y juntos se encuentran los parches.
- Diversidad del paisaje. Son métricas usadas para medir la composición y estructura del paisaje. Su estimación es influenciada por dos componentes, riqueza y equitatividad (*evenness*). La riqueza referida al número de tipos de parches, y equitatividad referida a la distribución del área entre los diferentes tipos.

3.2.2.3.2 Cambios por categoría de uso de la tierra

Las imágenes clasificadas por usos de la tierra fueron comparadas formando 3 períodos: 1987-1997, 1997-2003 y 1987-2003. Esto porque se notó que en algunas clases los cambios, aunque aparentemente continuos, si se analizaban en un solo período analizando por períodos intermedios transmiten mayor información sobre los procesos de cambio.

La estimación de los cambios de cada categoría de uso de la tierra con respecto al año base en cada período analizado se realizó utilizando el programa Idrisi Kilimandjaro, con su opción *Cross-Tab*, opción que al cruzar píxel por píxel las imágenes clasificadas de los dos escenarios, brinda una matriz en la cual se contrastan los usos en el año base frente a los usos en el año final. Utilizando esta matriz se totalizaron los cambios por cada categoría de uso en cada periodo analizado después de excluir las áreas de nubes.

Luego, se estimó el cambio total por cada uso de la tierra y los límites de confianza para cada uno de ellos, considerando cuatro escenarios alternativos de errores de clasificación. Para ello se calculó para cada año la cobertura de cada categoría de uso, tomando en cuenta la precisión para su categoría derivada de las matrices de error (Anexo 10). Los cuatro escenarios se formularon de la siguiente manera:

1. Cambios en el uso de la tierra sin considerar la precisión asociada a las clasificaciones ni en el año final ni en el año base.
2. Cambios en el uso de la tierra considerando la precisión asociada a las clasificaciones en el año final y en el año base.
3. Cambios en el uso de la tierra considerando la precisión asociada a las clasificaciones en el año final pero no en el año base.
4. Cambios en el uso de la tierra considerando la precisión asociada a las clasificaciones en el año base pero no en el año final.

Tomando en consideración solo el primer escenario y utilizando la matriz producida por el procedimiento *Cross tab* mencionado anteriormente, se estimaron cuales fueron los usos anteriores de cada categoría de uso de la tierra en cada período final, por ejemplo solo un 72 % de la cobertura de bosque en el 2003, era bosque en el año 1987, mientras que el resto del área cubierta por bosque fue en ese año pastos y charrales. Los cambios identificados a través de las imágenes satelitales fueron confrontados con información de los actores locales a través del recorrido de campo, entrevistas no estructuradas y una encuesta a actores claves expertos en manejo de recursos naturales.

3.2.2.3.3 Modelación de las probabilidades de cambio de uso de la tierra

La finalidad de la modelación de las probabilidades de cambio de uso de la tierra en esta fase fue aproximarnos a conocer la estabilidad del sistema, comprender la dinámica temporal del paisaje y seleccionar la probabilidad a usar como indicador más adecuado para estimar la estabilidad de la red de conectividad en la próxima fase.

Para la modelación de las probabilidades se utilizó el método de matrices de transición de Markov. Esta matriz registra la probabilidad de que cada cobertura de la tierra cambie a otra categoría (Eastman 2003). Por ejemplo, en el caso de tener solo dos coberturas como pasto y bosque, las probabilidades obtenidas serán: el bosque se mantiene como bosque, el bosque cambia a pasto, el pasto se mantiene como pasto y el pasto cambia a bosque.

El modelo Markov permite que la probabilidad de transición de una cobertura a otra pueda ser ajustada de acuerdo al período de análisis (Eastman 2003). Por ejemplo, en el caso de las coberturas presentes en el año 1987 y el año 1997, el modelo examina la probabilidad de que cada clase presente en el año 1987 sea convertida en otra clase en el año 1997. Para la predicción de cambio de

cobertura, el modelo asume que la cobertura convertida en el año 1997 depende del uso presente en el año 1987. Ya que el intervalo para 1987-1997 es de 10 años la predicción del cambio futuro será para el año 2007. Por el mismo razonamiento las probabilidades que corresponde al período 1997-2003 fueron para el año 2009, si las condiciones biofísicas, socioeconómicas, políticas e institucionales son las mismas. Con esta información fue posible comparar los efectos de dos tasas de cambio de uso de la tierra influenciadas por diferentes factores sociales y políticos correspondientes a dos períodos diferentes.

Para calcular la matriz de cambios se probaron dos procedimientos. El primero al que llamaremos "manual", consiste en estimar la probabilidad de cambio utilizando una muestra de puntos aleatorios sobre la imagen (Hernández 2003, Anexo 11). El segundo al que llamaremos "automático", utiliza la función MARKOV del software Idrisi Kilimandjaro 14.02, para comparar dos imágenes clasificadas provenientes de diferentes fechas tomando en cuenta toda la imagen y produce una matriz de probabilidades de transición para cada período. Se mantuvo para ambos métodos la condición de no tomar en cuenta las áreas de nubes en todas las imágenes.

Para establecer si no había diferencias estadísticas entre las probabilidades de cambio procedentes del método automático o manual se realizó una prueba comparación de medias a través del análisis de la varianza en el *software* estadístico Infostat. Para ello se utilizaron los datos de la estabilidad (datos de probabilidad de no cambio provenientes de la diagonal de la matriz de Markov) para los dos métodos (automático y manual), estableciendo como variable clasificatoria a los 10 usos de la tierra. La hipótesis nula fue que no hay diferencias entre las medias de las probabilidades de no cambio estimadas para los dos métodos. El resultado de esta prueba fue que no hubo interacción entre el método de estimación y las probabilidades de no cambio por uso de la tierra analizado ($p = 0,99$), ni existen diferencias significativas entre las medias de las probabilidades estimadas para uno u otro método ($p = 0,44$) por lo que se optó por usar en adelante el método automático, puesto que permitía agilizar los análisis a realizar en las siguientes etapas (Anexo 12). Si bien es cierto se encontraron diferencias significativas entre los usos ($p = 0,0056$) no ahondamos sobre esto aquí, porque los cambios por uso se describen en forma detallada en el acápite 4.2.2.

3.2.2.3.4 Consideraciones para el análisis de la matriz de cambios

La matriz de cambios está compuesta por la combinación de los usos en el año final contrastada con los usos en el año base. Esta matriz conformada por 100 celdas, contiene 90 posibilidades de cambios de acuerdo al número de categorías de usos de la tierra con las que se trabajó (10). La

diagonal de la matriz representa la estabilidad del sistema, es decir la opción “no cambio” y cada casilla representa la probabilidad de que un uso en el año base (filas) pase a otro uso en el año final (columnas). Para su análisis los cambios de la matriz se clasificaron en 4 tipos. En primer lugar cambios que dados los objetivos del trabajo no eran de interés para la presente investigación y que por la escala y el nivel de detalle del presente trabajo no era posible estimar en forma precisa. Puesto que en áreas pequeñas como la infraestructura y alargadas como los cursos de agua, los errores de clasificación y desfase de imágenes resultan demasiado significativos para ser considerados en el análisis (Velásquez et ál 2002). Luego, se identificaron aquellos cambios que eran improbables, entre los que se encuentran los debidos a errores de clasificación y al desplazamiento entre las imágenes. Después se identificaron los cambios que inciden positiva o negativamente en la conectividad en el área de estudio, y finalmente se identificaron aquellos cambios que aparentemente pudieran ser neutrales en cuanto a su afectación a la conectividad (Figura 7).

		Año final									
Usos de la Tierra		Bosque	Manglares	Charrales	Café	Palma	Pastos	Cultivos anuales	Piña	Agua	Infraestructura
Año base	Bosque										
	Manglares										
	Charrales										
	Café										
	Palma										
	Pastos										
	Cultivos anuales										
	Piña										
	Agua										
	Infraestructura										

Figura 7. Clasificación de la matriz de cambios de uso de la tierra. La diagonal de la matriz indica la estabilidad del sistema, el color verde los cambios positivos, el rojo los negativos, el amarillo los considerados neutros, el celeste los que son improbables y en gris aquellos que no fueron considerados en el estudio.

Para configurar la estabilidad del paisaje, además de tomar en cuenta las probabilidades de que cada cobertura se mantenga en el año final igual que en el año base, se consideraron también los cambios

considerados como neutrales, denominados así porque se asumió que probablemente no incidirían ni positiva ni negativamente en la conectividad en el paisaje.

Para la calificación de los cambios como positivos, negativos o neutrales se simplificaron los niveles de fricción planteados en la primera etapa de la investigación (acápite 3.2.1.4) basándose en las características de la metodología realizada en la clasificación de las imágenes satelitales y los análisis que se describen a continuación:

- ***Cambios neutrales***, en estos cambios se han juntado aquellos que no es muy claro si tendrán o no una influencia positiva en la red de conectividad, aquellos cambios que se perciben muy inestables en el tiempo y aquellos que por las debilidades del método no están claramente definidos, es decir que a pesar que hubiera una diferencia en el grado de fricción entre dos categorías de uso si estas presentaron confusión entre sí en el proceso de clasificación se consideraron como neutrales. Por ejemplo, entre los cambios que no se conoce adecuadamente como afectarán a la conectividad tenemos: de “cultivos anuales” a “Palma”, se consideró que la diferencia entre ambos no estaba del todo clara y no existían evidencias suficientes para calificarlo como positivo o negativo para la conectividad. Del mismo modo, en el cambio de “bosques” a “café” y viceversa se incorpora además de los errores de la clasificación, a cambios muy inestables que se revierten en cortos períodos entre sucesiones secundarias tempranas y cafetales, puesto que cuando baja el precio del café, algunos agricultores “abandonan” sus parcelas desarrollándose una sucesión secundaria que por sus características espectrales el programa clasifica como “bosques” y luego, cuando el precio se recupera vuelven a cultivarla, por lo tanto estos cambios no se acumulan en el tiempo.
- ***Cambios positivos***, se consideró como positivos aquellos que han favorecido el potencial de conectividad al pasar de una categoría de mayor hacia una de menor fricción al desplazamiento de las especies.
- ***Cambios negativos***, se consideraron negativos a aquellos cambios que inciden en forma negativa hacia la conectividad, donde se pasa de una categoría de uso de menor a una de mayor fricción.

3.2.3 Etapa 3: Diseño de la red de conectividad biológica estructural más estable

3.2.3.1 Delimitación del área de estudio en esta etapa

Para la identificación del área donde se realizaría el análisis de la estabilidad en cuanto al cambio de uso de la tierra de las rutas alternativas, se llevó a cabo un análisis visual de la red de conectividad estructural seleccionada en la primera etapa denominada Alternativa 1. En ella se identificaron solo aquellos segmentos que se presentaban como alternativas de paso de ACLA-P hacia ACOSA, aquellos segmentos que conectaban a algún núcleo de hábitat priorizado lateral no fueron consideradas.

El área de influencia de la Alternativa 1 se fijó tomando en cuenta las subcuencas y microcuencas en el ámbito de estudio. Las subcuencas y microcuencas fueron previamente delimitadas en el programa *Arcview* 3.3 a través de su extensión *Hidrological modeling* con base en el modelo de elevación digital. Luego, se superpusieron las redes de conectividad sobre las microcuencas delimitadas y de este modo se identificaron aquellas microcuencas por donde cruzaba la red. Este criterio de división responde a que se considera que la subcuenca es una unidad natural de intervención a nivel biofísico.

Al superponer las redes de conectividad sobre las cuencas delimitadas, se encontró que una parte importante de las redes pasaban por los bordes de los cauces de los ríos y otra parte por las cabeceras de las cuencas, mientras que una parte menor cruzaba en medio de algunas cuencas. En los casos cuando pasaban por los cauces y/o cruzaba la red se ajustó las áreas de influencia a los límites de las cuencas y microcuencas, mientras que cuando pasaban por la cabecera de las cuencas se presentaron las opciones de considerar las dos cuencas a las que pertenecía la cabecera por donde pasaba el segmento de red o considerar solo una. Esta decisión se realizó individualmente para cada caso tomando en cuenta la configuración espacial de cada segmento de red. El área total de las subcuencas y microcuencas por donde cruzaba la red principal es de 67.280 ha y a continuación se denominará como Alternativa 1.

La Alternativa 1 se subdividió en unidades de análisis, con la finalidad de que la red de conectividad final se diseñe usando las unidades que presenten mayor estabilidad en su conectividad. Se estableció como unidad de análisis al conjunto de subcuenca (s) o microcuenca (s) que contenían cada segmento de red alternativo, señalado con el nombre del río o quebrada más importante por donde cruzaba la red de conectividad. En el Cuadro 10 se señalan los resultados de

la delimitación. En el área de influencia delimitada para la Alternativa 1 se distinguieron 4 sectores de acuerdo a la distribución de las redes de conectividad y de acuerdo a los cuellos de botella que presentaron, para cada sector estuvieron conformados por dos o tres unidades alternativas por donde puede pasar la ruta totalizando 10 unidades de análisis (Ver Figura 8).

Sobre el área de influencia delimitada para la Alternativa 1 se realizó una edición de las imágenes clasificadas para los tres escenarios analizados (1987, 1997 y 2003). Para esto se utilizaron las imágenes clasificadas antes de someterse al procedimiento de eliminación de áreas menores a 20 ha. La edición manual se realizó superponiendo las imágenes clasificadas en formato vector sobre las imágenes satelitales. Se digitalizaron las diferencias mayores a 5 ha, entre cada clasificación y las coberturas en las fotografías aéreas georeferenciadas (utilizando las fotos de acuerdo al año más cercano de la clasificación). La digitalización se realizó sobre las imágenes satelitales. El procedimiento seguido después es similar al seguido en el área de estudio total y se muestra en el Anexo 13. Finalmente dado que el área de la categoría de uso cultivos anuales era muy pequeña esta área se juntó con la categoría de pastos.

Cuadro 10. Ubicación y superficie de las unidades de análisis conformadas con criterio de cuenca con base en los segmentos de red que componen la Alternativa 1.

Sector o Tramo	Unidades de análisis	Subcuencas y microcuencas	Área (ha)
1. De las áreas protegidas de ACLA-P hasta el primer cuello de botella de la red	Sábalo	Ríos Sábalo y Colorado	3.635
	Canasta	Ríos Canasta y Ceibo	4.205
	Cotón	Ríos Cotón, Gemelas, Hamaca y Cedro	9.402
2. Conexión intermedia sobre la carretera cantonal que llega a San Vito.	Cotobrus2	Subcuenca del Río Coto Brus y Río Boquillas	2.149
	Cotobrus	Subcuenca del Río Coto Brus	2.293
	La Palma	Ríos La Palma y Siak, y Quebrada Hurri.	3.637
3. De la zona media hasta la Fila Cruces	Changuena	Río Changuena y Piedras Blancas, subcuenca del Río Limón	11.685
	Brusmalis	Quebradas Brusmalis y Salitre, Subcuenca del Río Limón y ríos Choba, Chico y Caño Bravo	12.431
4. De Fila Cruces hasta las áreas protegidas de ACOSA	Esquinas	Ríos Esquinas y Bonito	7.991
	Cotocolorado	Ríos Coto Colorado y Sorpresa	9.852

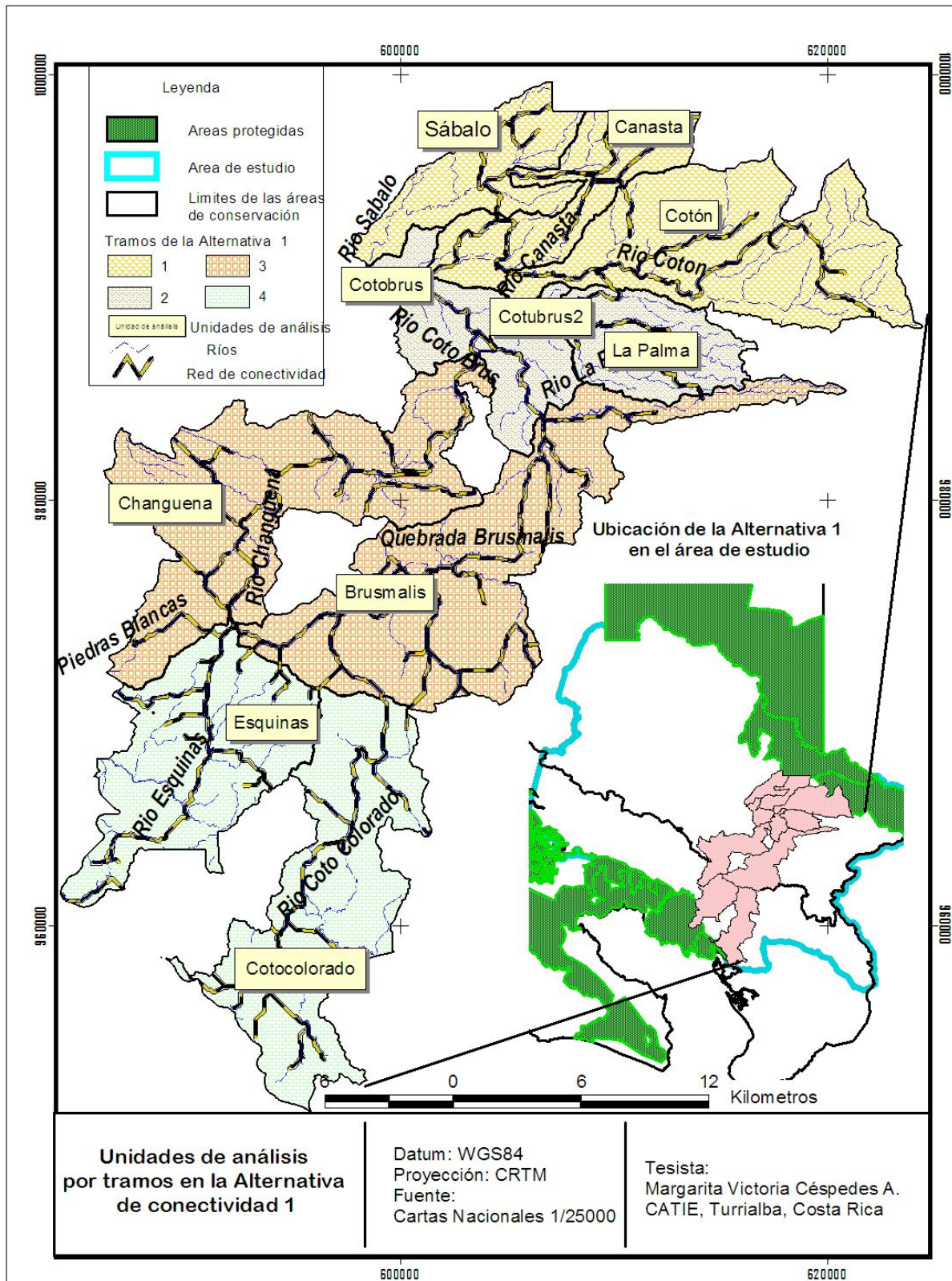


Figura 8. Ubicación de las unidades de análisis conformadas con criterio de cuenca con base en los segmentos de red que componen la Alternativa de conectividad 1.

3.2.3.2 Estimación de la estabilidad del sistema en las rutas alternativas

En la identificación de la ruta alternativa para conectar ACLA-P y ACOSA que optimice las probabilidades de estabilidad del sistema, se utilizó como criterio la menor probabilidad de cambios en el uso de la tierra a coberturas con mayor fricción¹⁰, lo que permitiría la permanencia de los posibles enlaces de conectividad entre los fragmentos y núcleos prioritarios. Este procedimiento se basó en una adaptación de la metodología de Jordan (2000) que se fundamenta en la *ingeniería de la confiabilidad*, cuya teoría discute como estudiar, medir y mejorar la confiabilidad de un sistema dado.

Para establecer las comparaciones se identificaron todas las posibles combinaciones que formaban la red deseada utilizando las unidades de análisis definidas en el ámbito de la Alternativa 1. Para lo cual se consideró como un supuesto que cada unidad de análisis funcionaba en forma independiente y que la probabilidad de estabilidad en cada unidad significaba la probabilidad de la conectividad de la misma. En consecuencia de acuerdo a la teoría de probabilidades para el caso de una colección finita de sucesos mutuamente independientes (Maisel 1971), la probabilidad del éxito de la conectividad de la red en su conjunto para cada red alternativa fue igual al producto de la probabilidad de la estabilidad de todas las unidades que la conformaban:

$$P_{\text{estabilidad de la red}} = P_{(1)} \times P_{(2)} \times P_{(3)} \times P_{(4)}$$

$P_{1,2,3,4}$ = Probabilidad de estabilidad de cada unidad.

La probabilidad de estabilidad para cada unidad representaba cuán estable era cada unidad de análisis. Al revisar la matriz de transición se descartó el uso de la probabilidad de que el “bosque” se mantenga, como indicador de la estabilidad por cada unidad de análisis, por las confusiones que se podrían presentar en cuanto a los cambios entre “bosque” y “café” y “bosque” y “charrales”. Por estas razones se optó por utilizar una transformación de un cambio considerado negativo a la conectividad en el ámbito de la Alternativa 1, estimando la estabilidad como la diferencia entre la unidad y la probabilidad de este cambio. Para seleccionar el cambio usado como indicador más apropiado se tomaron en cuenta los siguientes criterios: a) que las categorías entre las que se diera el cambio presenten un grado muy bajo de confusión entre sí; b) que sean categorías que se presenten en toda el área de análisis; y c) que presenten una diferencia importante en cuanto a sus valores de

¹⁰ De acuerdo a los niveles de fricción propuestos en la primera fase de la investigación.

fricción por lo tanto representen un cambio real en cuanto a conectividad. La probabilidad de estabilidad fue estimada para los dos períodos intermedios que conforman el período de análisis. El cálculo de las probabilidades se realizó también a través del módulo Markov de IDRISI Kilimandjaro 14.02.

El mejor diseño de la red fue aquel que maximizó la confianza en su estabilidad, es decir se tomó en cuenta para conformar la red las dos rutas que obtuvieron mayor probabilidad de que el nivel de conectividad se mantenga, lo que permitiría a las especies mantener sus desplazamientos actuales entre fragmentos. De esta forma se delimitó el área de influencia más estable para la red de conectividad que conecta ACLA-P y ACOSA.

3.2.3.3 Factores que inciden en la estabilidad de las redes de conectividad estructural

Este paso se desarrolló con la finalidad de explorar los factores asociados con la estabilidad del sistema. Para ello se identificaron los factores determinantes del cambio de uso de la tierra en el ámbito de las unidades de análisis. El primer paso consistió en la recopilación, preparación y análisis preliminar de información, a fin de identificar variables e indicadores que puedan ser aplicados en el ámbito de estudio se revisó información secundaria sobre factores determinantes directos del cambio de uso de la tierra en ámbitos cercanos o similares. Asimismo se analizaron capas de información secundaria que se pudieran correlacionar con la probabilidad de cambio tales como áreas bajo pago por servicios ambientales, parcelaciones del Instituto de Desarrollo Agrario (IDA), permisos forestales, acueductos y población, corredores biológicos actuales y otras iniciativas de conservación.

El segundo paso consistió en la realización de entrevistas a actores claves a nivel local con el objetivo de triangular y complementar la información obtenida en el primer paso. Entre los actores claves se tomó en cuenta a representantes de las instituciones relacionadas al manejo de los recursos naturales, representantes del gobierno, organismos privados relacionados a la conservación ubicados en el ámbito de estudio y líderes locales identificados en los recorridos de campo. En el Anexo 14 se listan los actores entrevistados. Se realizaron dos tipos de entrevistas: la primera se realizó a través de preguntas no estructuradas para conocer las organizaciones locales e instituciones que trabajan a favor de la conservación en el ámbito de las redes de conectividad (que podrían ser usados como indicadores de gestión a nivel local por representar posibles alianzas en un futuro), explorar la apreciación sobre los factores que han influenciado e influyen el cambio de uso de la tierra y los procesos en marcha que podrían favorecer o amenazar la estabilidad a futuro de las

redes. El segundo tipo de entrevista se diseñó para establecer las apreciaciones sobre el orden de importancia de los factores asociados al cambio de uso de la tierra en el área de estudio y se realizó a través de una entrevista estructurada.

El tercer paso consistió en la preparación de la información geoespacial obtenida. Para cada unidad de análisis se calculó un indicador para cada variable analizada (Cuadro 11). Por ejemplo para la variable accesibilidad se estimó la densidad de carreteras por unidad de análisis en km/km^2 , para la variable población se estimó la densidad promedio de poblados en $\text{Pueblos}/\text{km}^2$ por unidad de área.

Cuadro 11. Variables independientes con influencia probable en el cambio de uso de la tierra de bosque a pastos.

Factores	Variables	Indicador	Unidades	Fuente
Biofísicos	Topografía	Pendiente promedio	%	MED (Con base a las cartas 1/25000 del IGN en versión digital)
	Altitud	Altitud promedio	km^{11}	
	Hábitat	Cobertura de bosque en el año base	% de cobertura con respecto al total		Escenarios 1987, 1997 y 2003 clasificados con base en imágenes Landsat.
Sociales	Accesibilidad	Distancia a carreteras	Km	Cartas 1/25000 del IGN en versión digital.
		Densidad de carreteras	km/km^2	
	Población	Densidad de poblados	$\text{Pueblos}/\text{km}^2$	ICTCR (2004)
		Crecimiento poblacional	Incremento de habitantes/ km^2	INEC (sf) e ICTCR (2004)
Económicos	Precios de la carne	Tendencia por periodos	Periodos (1987-1997 1997-2003)	Tendencias por periodos con base en entrevistas e información secundaria.
Político legales	Leyes reguladoras	Configuración por periodos	Periodos (1987-1997 1997-2003)	Configuración por periodos con base en entrevistas e información secundaria.

Para realizar una aproximación a los cambios políticos y económicos se compararon la probabilidad de cambio entre los periodos analizados, tomando en cuenta que existen diferencias importantes en

¹¹ Se transformó esta variable original en metros para obtener menos decimales en los coeficientes resultantes.

cuanto al escenario político económico del período 1987-1997 vs. 1997-2003. Antes de realizar este paso se descartó el uso de factores para los que no se cuenta con información para todo el período analizado y/o que de acuerdo a los resultados preliminares no tengan una relación importante con el cambio de uso de la tierra.

Con la finalidad de realizar un análisis de las relaciones entre las variables utilizadas (Cuadro 11) y las diferentes unidades de análisis, se realizó un análisis de componentes principales. Para visualizar mejor la mayor variabilidad entre las observaciones y las variables, estas se graficaron en un *biplot* utilizando como ejes los componentes principales 1 y 2. Este análisis se realizó con el software *Infostat* versión 2006.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Etapa 1: Diseño de la red de conectividad biológica estructural inicial

4.1.1 *Objetivos de la red*

Los objetivos de establecer una red ecológica de conservación para la conectividad estructural entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de la Península de Osa, discutidos durante el proceso de consulta inicial se describen a continuación:

Objetivo principal

Mantenimiento de procesos ecológicos a gran escala para evitar el aislamiento de los ecosistemas presentes en el Área de conservación Osa y la Reserva de Biosfera La Amistad Pacífico.

Objetivos complementarios

- Favorecer los procesos migratorios verticales
- Mantenimiento de servicios ambientales
- Integrar la gente en la conservación a nivel de paisaje

El tipo de conectividad que se propuso es “conectividad estructural”, que sería útil para el grueso de especies dependientes de bosque (Finegan y Céspedes Agüero s.f.), para las cuales es favorable priorizar la mayor proporción de bosques en la estructura del paisaje y su mayor estabilidad en el tiempo. Las razones para no diseñar una red basada en la conectividad funcional para especies prioritarias son principalmente los vacíos de información en cuanto a estas especies y sus requerimientos específicos en el área de estudio, y los cuestionamientos que existen en cuanto a que no necesariamente los requerimientos de un grupo de especies en particular corresponden al grueso de especies cuyos procesos se favorecen a través de la conectividad estructural. Además, concentrarse en la conectividad estructural en esta investigación responde a la premisa de la ecología del paisaje que supone que hay fuertes relaciones entre los patrones del paisaje y las funciones y procesos ecológicos (Gustafson 1998).

El objetivo correspondiente al mantenimiento de los procesos migratorios verticales responde al hecho de que los dos sitios de conservación que se pretende conectar a través de la red planteada se

encuentran en diferentes niveles altitudinales. Mantener la conectividad en un gradiente altitudinal responde además a las expectativas generadas ante los efectos previsibles por el cambio climático (CBD 2003).

El mantenimiento de los servicios ambientales fue señalado como un objetivo complementario de esta red, resaltándose los servicios que son importantes para la población local y a nivel regional, como la protección del recurso hídrico. Del mismo modo, el integrar a la gente en la conservación a nivel de paisaje, fue señalado como un medio para lograr los objetivos de conservación de la red, por que de acuerdo a los principios de la sostenibilidad, las poblaciones locales deben ser integradas en los procesos de recuperación y mantenimiento de los ecosistemas, así como participar de los beneficios de estos (Consulta a expertos).

Dada la composición actual del paisaje sobre el que se diseñó la red, el criterio de hábitat representativo (Finegan y Céspedes Agüero s.f.) en los sistemas nacionales de protección usado en la propuesta de conectividad realizada por Ramos Bendaña y Finegan 2006 en San Juan La Selva, no se tomó en consideración. La no validez de este criterio en este paisaje fue sostenida por los expertos debido a la escasez de fragmentos con un tamaño de hábitat adecuado para formar núcleos de conectividad por lo que se descartó usar la variable zonas de vida menos representadas y/o otras que respondieran a un análisis de vacíos de conservación (GAP). También se descartó a la priorización de áreas para el pago de servicios ambientales como objetivo del diseño de esta red, sin embargo, se discutió el valor de los resultados de la misma, como marco de referencia para priorizar recursos para el pago por servicios ambientales.

4.1.2 Áreas protegidas y núcleos de hábitat prioritarios a conectar

De las diez áreas protegidas propuestas inicialmente en la metodología como objetivos a conectar por la propuesta de red de conectividad desarrollada en este estudio, se seleccionaron sólo seis, dos de las cuales se encontraban en el Área de Conservación La Amistad Pacífico (ACLA-P) y las otras cuatro en el Área de Conservación Osa (ACOSA). Se eliminó la inclusión como destino de las áreas protegidas o áreas de interés que se encuentran al interior del área de estudio que por sus características intrínsecas y de ubicación no se les haya considerado núcleos de hábitat prioritarios para la conservación como el Refugio Nacional de Vida Silvestre Agua Buena y el Humedal de San Vito. Además a las que en forma natural no se encuentran conectadas como el Humedal Terraba Sierpe y la Reserva Forestal Golfo Dulce. Asimismo, se identificó a la Reserva Indígena Guaymí de

Coto Brus como un núcleo importante para la conectividad por la extensión del parche de bosque que mantiene. En el caso del Humedal Palustrino Laguna del Paraguas se recomendó incluirlo por su importancia y las características del hábitat que lo rodea (ver Figura 9).

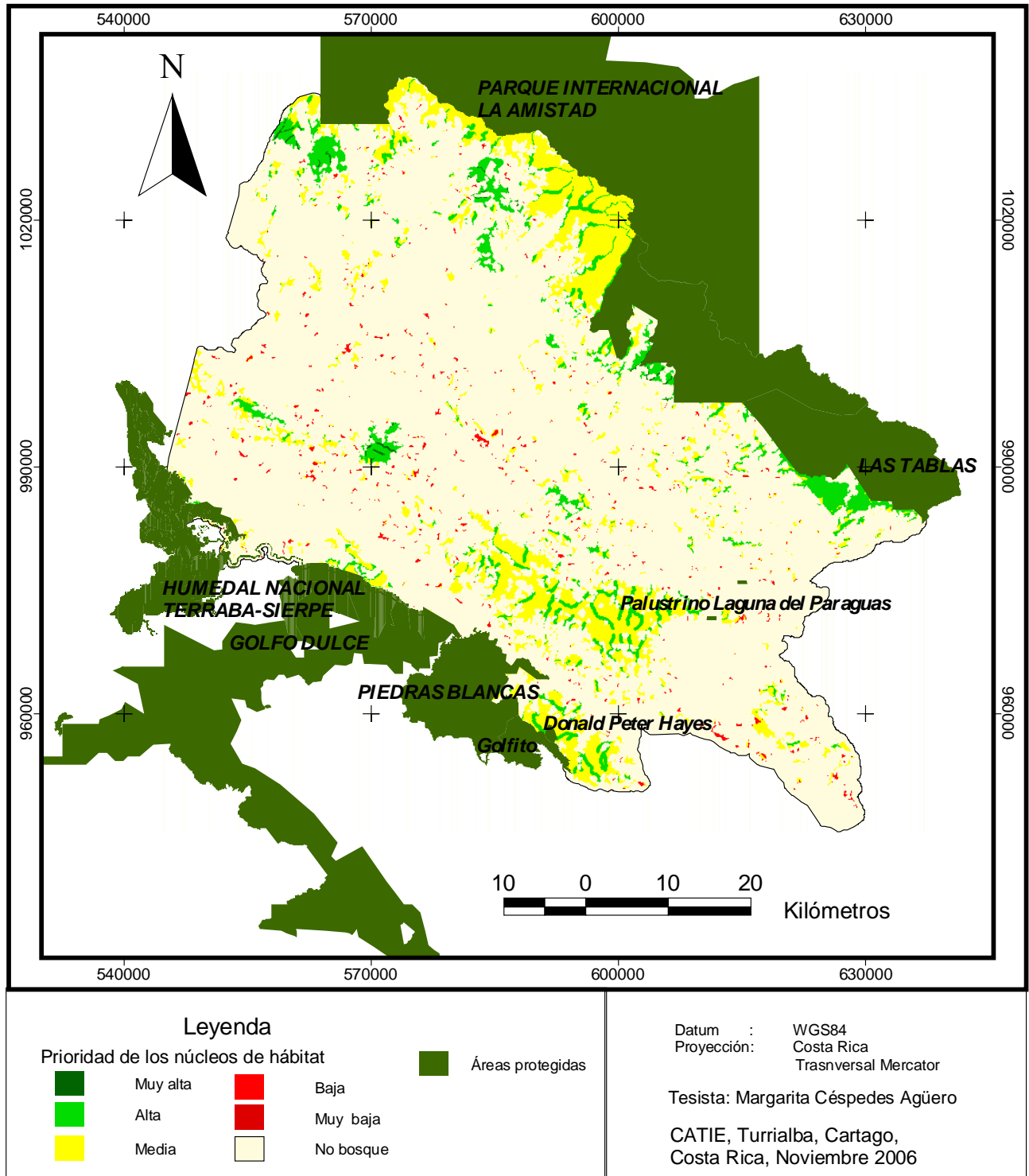


Figura 9. Áreas protegidas y núcleos de hábitat prioritarios para la conservación entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA.

En el sector Noroeste del área de estudio se identificó al Corredor Paso de la Danta como un posible destino intermedio que permitiría la conexión hacia el Océano Pacífico en el sector del Parque Nacional Marino Ballenas y el Humedal Nacional Térraba-Sierpe (Figura 9). Cabe resaltar que en este análisis la Zona Protectora Las Tablas no se consideró dentro del área para la identificación de núcleos de hábitat prioritarios, sino dentro del conjunto de áreas protegidas a conectar. Si bien esta área protegida no cuenta actualmente con un régimen de protección estricta su cambio de estatus se encuentra en proceso y su importancia ecológica es reconocida no solo como zona de amortiguamiento del PILA, sino como corredor biológico altitudinal entre la cota de los 3.000 msnm – divisoria de aguas de la Cordillera de Talamanca - dentro del PILA y la cota de los 1.300 msnm. La Zona Protectora las Tablas es además corredor biológico horizontal con el PILA Panameño Sector Jurutungo y naciente del agua potable que abastece a la población de San Vito (Comunicación personal¹²).

Como resultado de la aplicación del modelo, con los criterios definidos en la metodología (acápite 3.2.1.3), se encontraron 37 núcleos que obtuvieron la calificación de prioridad muy alta (519 ha). Sin embargo, la distribución de los mismos no era adecuada para poder desarrollar el modelo de redes por lo que se tomó en cuenta también los núcleos con la categoría siguiente (prioridad alta), que contaba con 356 núcleos y un área de 22.394 ha (Cuadro 12). La agrupación de los núcleos de hábitat con prioridad alta y muy alta formaron 337 núcleos prioritarios y representaron aproximadamente un 30% de las áreas interiores de los parches de cobertura natural. Estas áreas interiores representan a su vez, sólo el 36,7 % del área total de los parches originales, debido a la forma irregular que tienen los parches.

Cuadro 12. Prioridad de las áreas interiores de las coberturas naturales en el área de estudio.

Prioridad	ha	%
Muy alta	536	0,7%
Alta	22.394	29,5%
Mediana	49.330	65,1%
Baja	3.576	4,7%
Muy baja	8	0,0%
No prioritario	0	0,0%
Total	75.854	100,0%

Esta situación se debió a que en el ámbito de estudio existían muy pocos parches de bosque que reunieran a la vez todas las características consideradas como de prioridad muy alta (tamaño mayor

¹² Mora, G. 2006. Corredores biológicos en ACLA-P (entrevista personal), Pérez Zeledón, CR, SINAC.

a 1.000 ha, índice de forma menor a 2,5, rango de altitudes de alta vulnerabilidad, densidad de poblados menor a 0,05 pueblos/km², distante a un río menos de 50 metros y distante a una carretera más de 2.000 metros). Sin embargo, dado que se aplicó el modelo de promedio ponderado, fue posible que aunque no se reunieran las características más propicias para una variable en particular, si se reunían las características más favorables para las otras variables, el parche en cuestión podría ser considerado núcleo de hábitat prioritario. En el Cuadro 13, se muestran los rangos de distribución para cada variable utilizada en el interior de los núcleos seleccionados.

Otra característica interesante del modelo es el hecho de que al realizar la selección píxel por píxel, en algunos casos produce dentro de un parche de cobertura natural más de un núcleo prioritario. Así, a pesar que se tienen 337 núcleos estos están dentro de 48 parches de cobertura natural (117 si tomamos cuenta las divisiones causadas al estimar las áreas interiores), lo que representó el 13,71 % del número de parches dentro del área de estudio. Esto sucede especialmente cuando el parche es grande y tiene diferentes características dentro del mismo, como es el caso del área de bosque ubicado en la Reserva indígena Guaymí de Coto Brus. Esto permitió más adelante que hubiera más de una posibilidad de entrada y salida para trazar las redes de conectividad.

Cuadro 13. Características de las variables utilizadas en el ámbito de los núcleos prioritarios para la conectividad.

Variable	Unidades	Mínimo	Máximo	Desviación Standard	Mediana	Promedio
Altitud	msnm	0	3.096	528	1.161	1.097
Forma	Adimensional	1,2	10,3	2,40	5,4	5,5
Tamaño	ha	20	19.510	7.549	469	6.086
Densidad de poblados	Poblados/km ²	0,0	0.24	0,04	0,03	0,04
Distancia a las carreteras	m	173	26.995	5.976	6.564	8.490
Distancia a ríos	m	0	3.006	319	117	235

En el Cuadro 14, se presentan las estadísticas tamaño de los parches de cobertura natural priorizados en esta investigación por macrotipos de vegetación (Gómez y Herrera 1986). Entre los 17 macrotipos que se hallaron, cuatro no se encontraban adecuadamente representados ni en el sistema nacional de áreas protegidas, ni en las propuestas de nuevas áreas protegidas presentadas en Gruas I (García 1996). De estos cuatro macrotipos, el Bosque Tropical Lluvioso de Bajura (29) es el que presenta mejores condiciones para su conservación a través de esta propuesta de red por

presentar los mayores tamaños de parches promedio y la mayor cantidad de área total disponible en la categoría. Este ecosistema se sitúa entre el Río Cotón y el Río La Palma.

Cuadro 14. Representación en el Sistema de Áreas protegidas de Costa Rica, número y tamaño de los parches de coberturas naturales por macrotipos de vegetación en los núcleos prioritarios para la conservación identificados en esta investigación¹³

Macrotipo de vegetación	Representación	Número de parches	Área interior	Area total	Tamaño de Parche promedio	Mediana del tamaño de parche	Coficiente de variación del tamaño de parche	Desviación estándar del tamaño de parche
17a	Adecuada	60	14.005	25.469	424	30	299	1.269
17c	Propuesta	1	58	79	79	79	0	0
18	Adecuada	35	13.593	16.828	481	27	427	2.051
19	Adecuada	5	5.018	5.945	1.189	1.474	65	768
20	Adecuada	9	135	227	25	10	120	30
22	Privados	40	969	6.051	151	49	183	277
23	No considerada	6	284	828	138	102	57	78
25	No considerada	23	267	1.270	55	10	218	120
26	No considerada	35	294	1.086	31	11	179	56
28	Propuesta	28	15.188	23.759	849	37	380	3.227
29	No considerada	57	3.687	14.340	252	53	195	491
31a	Propuesta	6	1.115	20.938	3.490	1.550	56	1.940
31b	Propuesta	2	31	6.797	3.398	3.398	0	0
31c	Propuesta	2	781	37.440	18.720	18.720	0	0
33	Adecuada	29	8.740	14.844	512	63	302	1.544
36	Privados	5	638	1.195	239	114	84	201
7	Adecuada	6	337	835	139	54	87	121
Total			65.140	177.931				

Leyenda:

Adecuada: Representada en el sistema de áreas protegidas de Costa Rica

Propuesta: Representación propuesta por Gruas I todavía en proceso

Privados: Representación en áreas protegidas privadas

No considerada: Representación no considerada bajo ningún sistema

Entre los macrotipos propuestos para incorporarse al sistemas de áreas protegidas (García 1996), identificados en esta propuesta, que todavía no han alcanzado el estatus de protección estricta se encuentran: el Bosque submontano semideciduo por déficit de agua (17 c), ubicado en la Zona

¹³ Áreas en ha.

Protectora Las Tablas, propuesto para ampliar el Parque Internacional La Amistad; los Manglares (31 c), ubicado sobre el Humedal Térraba Sierpe propuesto para que luego de una zonificación se convierta en Parque Nacional; las Selvas anegadas Igapoides (31 b), en la laguna Sierpe parte del Humedal Térraba-Sierpe, que alberga además los macrotipos 31a (Pantanos herbáceos) y 31c; el Bosque tropical lluvioso de bajura (28), propuesta denominada Anguciana, ubicado sobre la Fila costeña, que fue propuesto como un área de protección al extremo sur de la Reserva Forestal Los Santos. En el Anexo 15, se muestran las claves de los macrotipos señalados.

4.1.3 Priorización de las unidades de paisaje presentes en el área de estudio de acuerdo a su valor para la conectividad estructural

De acuerdo a los criterios establecidos en el proceso de consulta llevado a cabo en este estudio (ver metodología acápite 3.2.1.4), solo un 4,2% del área de estudio fue calificada como sin fricción al desplazamiento (Cuadro 15). Esta categoría estuvo compuesta principalmente por áreas que pasan próximas a los cauces de los ríos (Figura 10). Otro punto interesante es que pese a que en el área de estudio solo aparece aproximadamente un 30 % de áreas cubiertas de bosque y tomando en cuenta todos los demás criterios y la valoración de las otras coberturas, aproximadamente un 64% del área tienen una fricción entre “baja” y muy “baja”, que son las principales categorías por donde recorrerá la red.

Cuadro 15. Distribución del área de estudio por niveles de fricción al desplazamiento

Fricción	ha	%
No hay	18.063	4,2
Muy baja	139.961	32,5
Baja	136.040	31,6
Mediana	93.455	21,7
Alta	20.550	4,8
Muy alta	253	0,1
Restringidos	21.918	5,1
Total	430.240	100,0

Los usos considerados como restringidos, que incluyen el cultivo del banano, la piña y el arroz, representaron aproximadamente el 5 % del área de estudio (Cuadro 15). No obstante, el consenso entre los actores locales de considerar el cultivo de piña en esta categoría, es necesario mencionar que la empresa PINDECO a cargo de este cultivo, ha obtenido la certificación ISO 14001 por mantener un Plan de Manejo ambiental que incluye el manejo de una Reserva Privada (Refugio de

Vida Silvestre Privado Montaña El Tigre) y medidas de protección como cercas de árboles y otros que podrían mitigar de algún modo los impactos que causan.

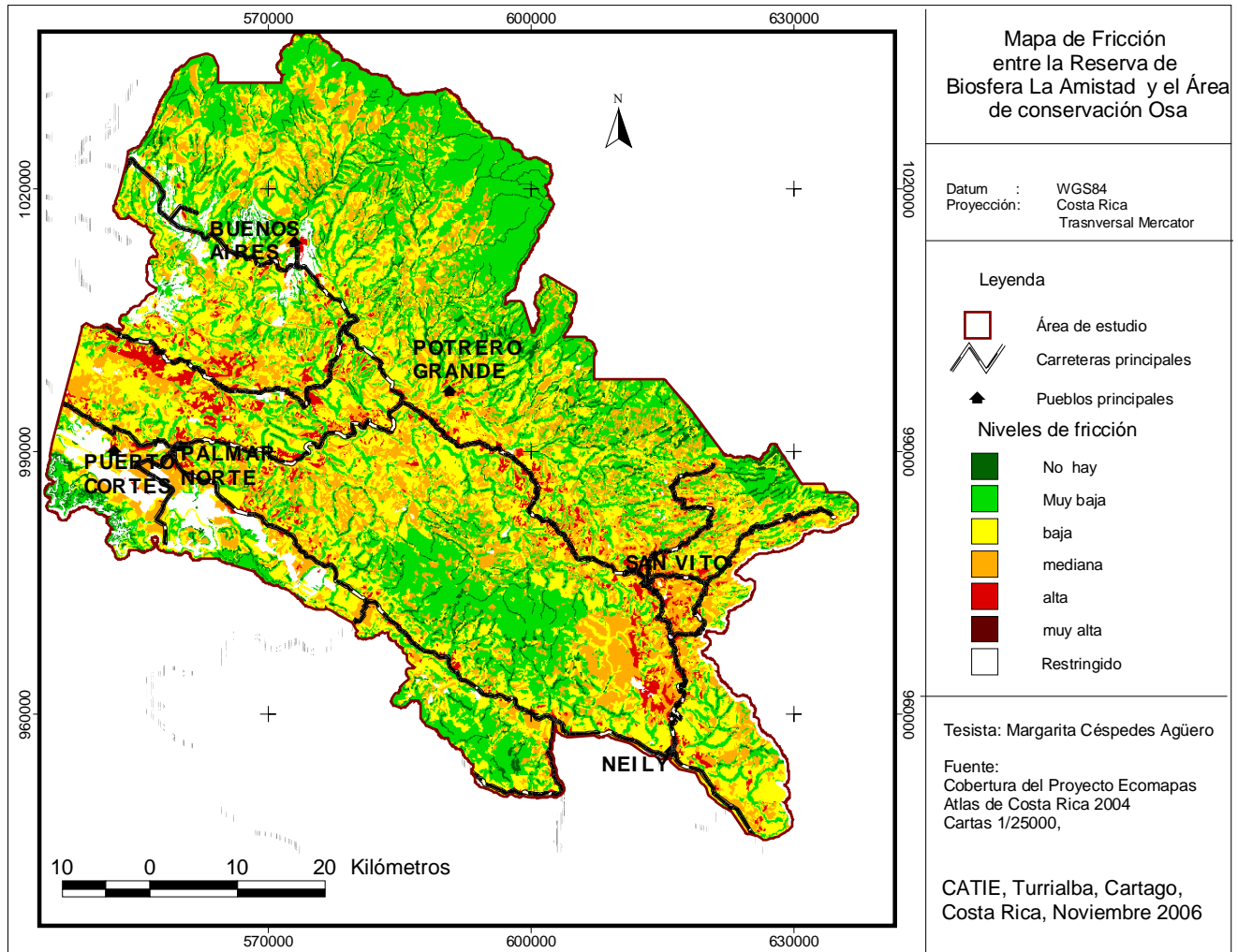


Figura 10. Mapa de fricción al desplazamiento de las especies silvestres entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA.

Entre las coberturas cuya fricción fue muy discutida estuvieron los “cafetales”, dado que en el área de estudio por lo general su cultivo no se da como monocultivo, sino en sistemas agroforestales acompañado de especies fijadoras de nitrógeno, maderables, frutales, palmas, musáceas y otras especies (Ramírez y Calvo 2003). Finalmente, fue ubicado en una categoría de fricción conjunta con las plantaciones y los pastizales con árboles, puesto que la composición mixta de los cafetales no es un patrón homogéneo en la generalidad de ellos sino más bien tiene un nivel de variación

bastante alto lo cual no permite separar donde el café tiende hacia una composición más diversa y donde tiende a un cultivo intensivo. Por otro lado la riqueza de especies arbóreas en los cafetales responde a estrategias de los agricultores para minimizar el impacto económico de las fluctuaciones de los precios del café. La aparición de cultivos alternativos, aún más intensivos, podría motivar un cambio de uso en estas zonas agrícolas con mucha facilidad. Así, un 55 % de los agricultores entrevistados por Ramírez y Calvo (2003)¹⁴ en el área de amortiguamiento de la Reserva de Biosfera La Amistad afirmaron considerar la posibilidad de cambiar de cultivos si no mejoraban su rentabilidad (los cambios se analizarán en la siguiente fase de la presente investigación).

4.1.4 Modelación de la red de conectividad biológica

La red trazada con los valores transformados con una escala logarítmica (Figura 11 b) recorre los lugares con menor fricción implicando el empleo de mayor distancia en sus recorridos entre dos núcleos prioritarios, mientras que la ruta trazada con los valores de fricción originales (Figura 11 a) tiende a utilizar menor distancia euclidiana para pasar de un núcleo a otro, porque las diferencias entre píxeles de diferentes niveles de prioridad utilizando los valores originales son muy pequeñas (1,2,3,4,5,6). No obstante este hecho apreciable, incluso visualmente, la red logarítmica es más corta (1.231 km.) que la red trazada con los valores originales (1.398 km), puesto que en el paisaje hay pocas alternativas del mismo costo cuando se aplican los valores de fricción con transformación logarítmica, Figura 11d. En cambio en el modelo de red trazado con los valores originales producto de la ponderación de las variables se generan varias rutas alternas del mismo costo que pasan a formar parte de la red (Figura 11c).

En el Cuadro 16 se pueden apreciar las diferencias en cuanto a la estructura de usos de la tierra en el ámbito de estudio total y las áreas de amortiguamiento definidas para cada red trazada. En el área de amortiguamiento de las redes de conectividad aumenta sustancialmente el porcentaje de bosques de un 35 % en el área de estudio total a más del 60 % en las zonas de amortiguamiento de las redes de

¹⁴ El área donde se realizó el estudio de Calvo y Ramírez (2003) se encuentra al norte del área de estudio sin embargo, de acuerdo a l recorrido de campo que se hizo y a los datos proporcionados por el ICAFE y productores cafetaleros de la zona, los resultados son extrapolables al área de este estudio.

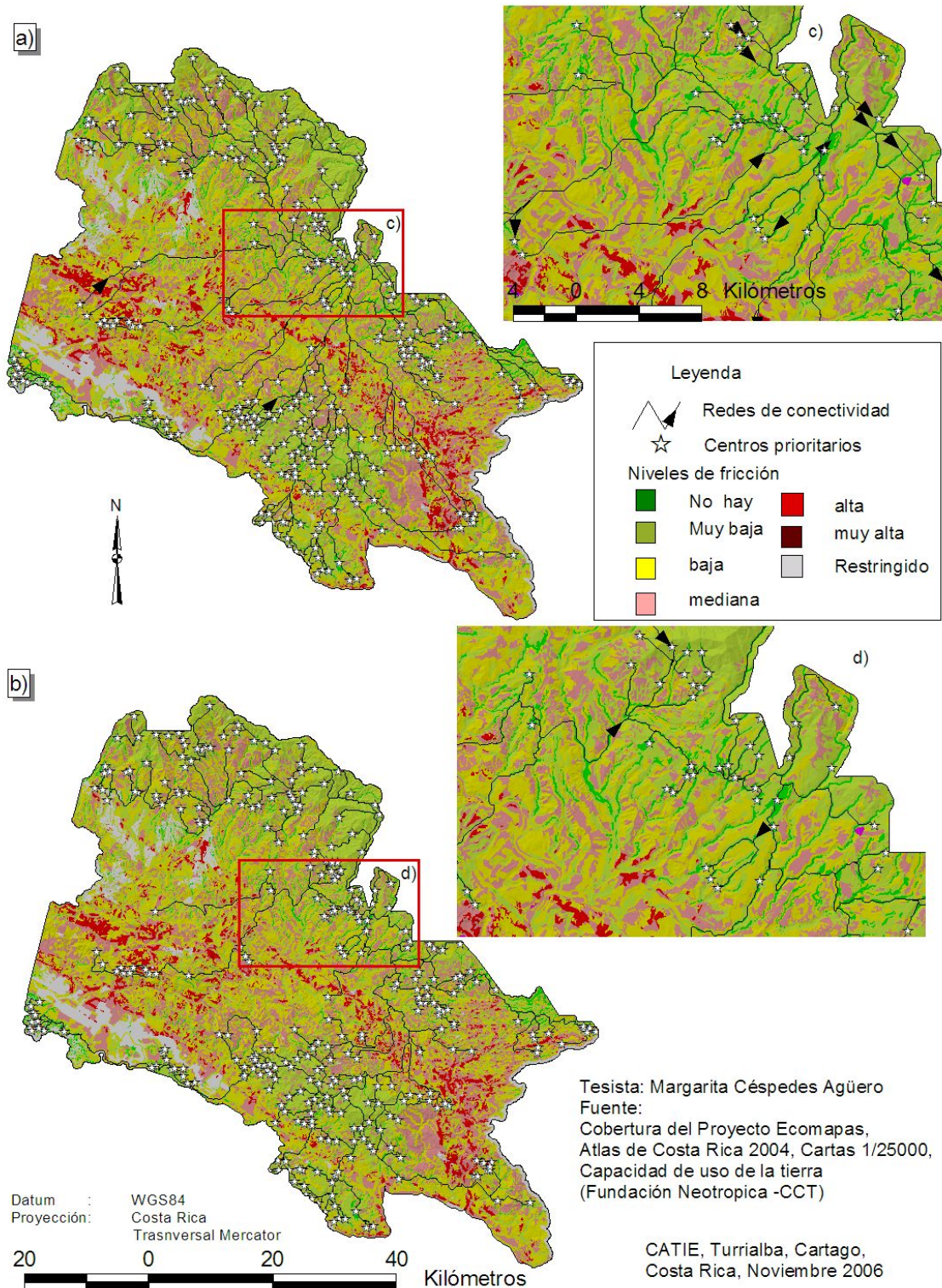


Figura 11. Redes de conectividad entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA: a) modelo con valores originales de dificultad al desplazamiento, b) modelo con transformación logarítmica, c) acercamiento del modelo con valores originales y d) acercamiento del modelo con valores logarítmicos.

conectividad. El aumento en el porcentaje de bosques esta basado en la disminución de la proporción de los otros usos con mayor fricción por ejemplo los pastos que en el área total son el segundo uso más frecuente, en las redes representan el tercero. Del mismo modo, la proporción de los “charrales” también aumentó pasando de ser el tercer uso en el área total (20,5%) a ser el segundo uso más frecuente en las redes de conectividad (17,4%).

Cuadro 16. Usos de la tierra en las trayectorias que recorren las redes de conectividad trazadas entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA, considerando un buffer de 100 m a cada lado de la línea de la red.

Usos de la tierra	Área total del ámbito de estudio		Área de amortiguamiento de las redes de conectividad			
			Valores originales		Valores logarítmicos	
	ha	%	ha	%	ha	%
Bosque	151.039	35,4	16.378	60,8	15.723	65,8
Manglares	2.258	0,5	303	1,1	337	1,4
Otros humedales	3.195	0,8	528	2,0	519	2,2
Plantaciones forestales	12.669	3,0	406	1,5	410	1,7
Charrales y tacotales	87.391	20,5	4.702	17,4	3.810	16,0
Café con sombra	10.040	2,4	225	0,8	59	0,3
Pasto con leñosas	23.462	5,5	820	3,0	469	2,0
Pastizales	99.049	23,2	3.066	11,4	2.123	8,9
Cultivos permanentes	13.163	3,1	122	0,5	119	0,5
Cultivos anuales	16.632	3,9	87	0,3	70	0,3
Suelo desnudo	2.474	0,6	90	0,3	68	0,3
Infraestructura	2.327	0,6	38	0,1	2	0,0
Cuerpos de agua	2.111	0,5	198	0,7	176	0,7
Nubes	249	0,1	0	0,0	4	0,0
Sombras	98	0,0	0	0,0	0	0,0
No clasificado	169	0,0	0	0,0	0	0,0
Totales	426.326	100,0	26.963	100,0	23.889	100,0

No obstante, las restricciones para las coberturas de cultivos anuales intensivos (piña, arroz y plátano), en los dos modelos diseñados persiste su presencia con un 0,3 %. Esto se explica dado que la lógica del programa es conectar todos los núcleos que se le ha indicado que son prioritarios, así que si no hay otro lugar por donde pasar el programa trazara su red por estos sitios restringidos, además tomando en consideración que el ancho de las zonas de amortiguamiento de las redes donde

se evaluaron los usos es de 200 m, y las rutas se trazaron con un píxel de ancho (28,5 m), es probable que los usos en la zona de amortiguamiento de la red no necesariamente sean similares que los presentes en la red en sí misma.

Al comparar el modelo logarítmico y el que utiliza los valores originales mediante la prueba de Chi-cuadrado, para un nivel de significación del 5%, se encontraron diferencias en las porcentajes de cobertura de usos de la tierra entre las zonas de amortiguamiento de las redes de conectividad trazadas ($p < 0,0001$), no pudiendo atribuirse las diferencias encontradas al azar. Entre los usos, donde se encontraron más diferencias en las frecuencias relativas entre los modelos, están la "infraestructura", el "café" y los "pastizales". Para los tres usos las frecuencias relativas en el modelo logarítmico son sustancialmente menores que en el modelo que toma los valores originales (Figura 12). El café con sombra, que a pesar de haber sido calificado como un uso del suelo con menor fricción que los cultivos anuales, tiene menos representación que estos en la red con valores logarítmicos. Esto tiene que ver con las alternativas que tuvo el programa para trazar la red, si paralelamente al café existía un charral o un bosque, de acuerdo al modelo, el programa prefiere 10 o 100 veces más esas coberturas que el café. Las diferencias entre las frecuencias relativas en las filas en el caso del bosque son pequeñas sin embargo, en el modelo logarítmico el bosque tiene un mayor porcentaje (65,8%) que el modelo con valores originales (60,8 %).

Al comparar la estructura de usos de la tierra en las áreas de amortiguamiento de los modelos de redes usados en el presente estudio, con las proporciones de los usos de la tierra en los modelos de redes elaborados por Murrieta (2005) en el Corredor Biológico Cordillera Volcánica Central – Talamanca, encontramos diferencias en el orden de importancia de las categorías de uso diferentes al bosque. Por ejemplo, el "café" que en esta investigación alcanzó apenas el 0,84 % ocupando el octavo lugar en cuanto a cobertura, en la investigación de Murrieta (2005) tiene un 10,18 % ocupando el segundo lugar en orden de importancia. El caso inverso sucede con los "charrales" que en esta investigación alcanzan en un modelo hasta 17,44 %, mientras que en el otro estudio sólo llegan a un 4,40%.

Los valores de fricción asignados por Murrieta (2005) son más próximos a los valores originales que a los logarítmicos; no obstante, sus resultados al ser totalmente diferentes a ambos modelos, nos permitieron, corroborar el hecho, que la composición y distribución inicial de los usos de la tierra en el paisaje, así como la ubicación particular de los núcleos considerados como prioritarios es determinante para la composición de usos de la tierra que tendrán las redes bajo este tipo de diseño.

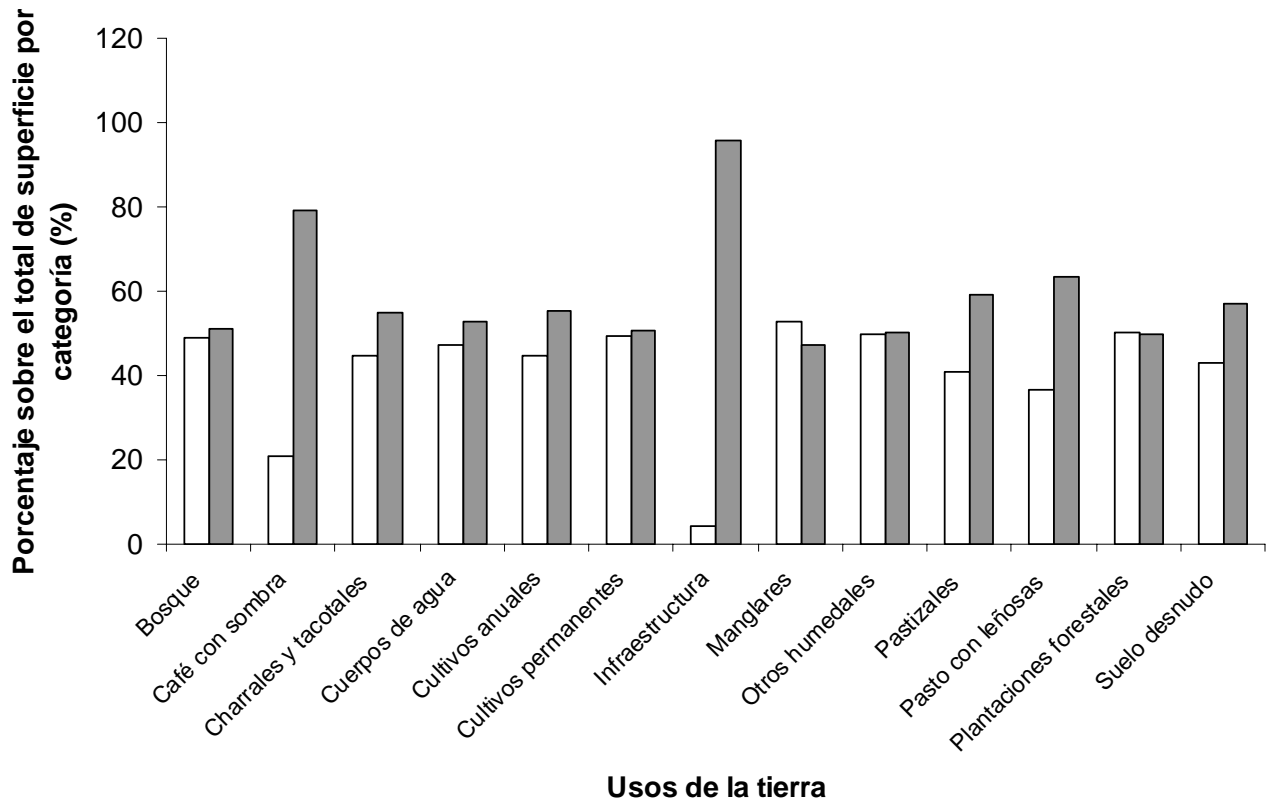


Figura 12. Frecuencias relativas de usos de la tierra, en las trayectorias que recorren las redes de conectividad con valores originales (barras en color gris) vs. logarítmicos (barras en color blanco), trazadas entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA.

En el caso de redes que tienen como objetivo un determinado grupo de fauna, el estudio del desplazamiento de las especies en los diferentes tipos de cobertura es la alternativa idónea para determinar los valores de fricción de cada cobertura. En un estudio de simulación de modelos de redes de conectividad sobre un sistema agroforestal, Baudry et ál.(2003) asignó valores de fricción a diferentes coberturas de la tierra basado en la movilidad de escarabajos.

En esta investigación, al no haberse priorizado los requerimientos de un grupo de especies en particular, sino la conectividad estructural, se seleccionó el modelo logarítmico, porque obtuvo un mayor porcentaje de coberturas naturales con la menor distancia recorrida.

El modelo logarítmico se volvió a aplicar añadiendo un núcleo en el Parque Nacional Piedras Blancas, debido a que las redes que llegaban hacia ACOSA estaban haciéndolo por sitios con cierta inestabilidad de acuerdo a la apreciación de los expertos locales. Luego, como resultado del análisis visual, se dividió la red en 8 ramales de acuerdo a las conexiones que presentaban.

De los 8 ramales que existen, el ramal 1 es el que tiene el promedio de segmentos más pequeño con 351 metros aproximadamente. Si bien el tamaño del segmento no indica la distancia entre los parches de bosque, es una aproximación de cuanto distan en promedio los núcleos de hábitat al interior de la red, y el hecho de que este ramal tenga el menor valor se debe a que es la ruta que cuenta con mayor número de núcleos prioritarios a conectar (Cuadro 17). Por el contrario, el ramal 8, que cuenta con sólo tres núcleos a conectar, presenta el segmento más largo para unir dos núcleos de hábitat (24,6 km). En la práctica lograr una red de conectividad entre dos núcleos que se presenten muy distantes podría implicar un esfuerzo muy grande. Aunque no necesariamente toda la distancia entre los núcleos pase por “no bosque”, puesto que las estadísticas de las distancias entre parches de coberturas naturales (bosques, manglares y otros humedales), en el ámbito del área de amortiguamiento definida para el modelo de red con valores logarítmicos, nos muestran que la máxima distancia entre parches de cobertura natural es 2,5 km (Anexo 16).

Cuadro 17. Estadísticas de los ramales de la red de conectividad con valores logarítmicos.

Ramal	Longitud total (m)	Segmentos de ramal					Núcleos conectados	
		Número de segmentos	Tamaño de segmentos por ramales de redes					
			Media (m)	Mínimo (m)	Máximo (m)	Varianza		Desviación standard
1	444.167	1.265	351	14	12.612	12.598	1.057	127
2	117.169	151	776	14	12.917	12.903	1.910	37
3	139.825	259	540	14	20.419	20.404	1.738	48
4	313.071	547	572	14	9.331	9.317	1.432	79
5	62.654	88	712	20	14.107	14.087	1.898	15
6	56.746	79	718	14	10.575	10.560	1.874	13
7	71.480	125	572	14	13.608	13.594	1.643	16
8	30.880	5	6.176	513	24.559	24.046	10.301	3
Red completa	1.235.992	2.519	485	14	24.559	24.544	1.460	338

En la Figura 13 se muestran las conexiones de las redes con las áreas protegidas y los corredores biológicos (Arias s.f.) existentes en el ámbito de estudio y en el Cuadro 18 se presentan los lugares por donde pasan cada ramal de la red y las conexiones con las áreas protegidas y corredores biológicos registrados por el Proyecto Gruas II en las áreas de conservación (Arias s.f.). Con base

en esta información se encontró que la red de conectividad estructural diseñada en esta investigación coincide y enlaza las iniciativas locales existentes que se encuentran en el ámbito de estudio, aportando la ruta de conexión más apropiada para pasar desde el ACLA-P hacia ACOSA, mediante el ramal 1. Además, siete de los ocho ramales presentan conexiones con áreas protegidas y/o con propuestas de corredores biológicos que se vienen desarrollando a nivel local.

El ramal 1 se ubica sobre varias propuestas de corredores biológicos presentadas anteriormente tanto por el lado de ACOSA, como por el lado de ACLA-P. Así, en su propuesta de redes de conectividad en ACOSA, Almeida (2002) presenta la conexión Fila Cruces-.Río Coto Brus-Río Cotón - Reserva de Biosfera de La Amistad como la alternativa más viable de conectividad entre ACLA-P y ACOSA, por mantener fragmentos boscosos con alta representatividad de sus hábitat nativos. Asimismo, el personal del MINAE-SINAC ha propuesto los corredores biológicos: Sector Territorio Guaymi-Fila Cal-Pila y Boruca-Changuena-Río Canasta (comunicación personal¹⁵). Más adelante Morera et ál. (2005) en una evaluación del potencial de conectividad física entre el PN Piedras Blancas y el Refugio de Vida Silvestre Golfito y Fila Cal, concluyen que los características biofísicas y las limitaciones agroecológicas de este sitio han favorecido la conservación de bosques remanentes e inclusive de recuperación de cobertura a través de regeneración natural.

Por otro lado de acuerdo al análisis de los macrotipos de vegetación que componen los parches conectados por esta red, se encontró que este ramal es el que conecta los parches del macrotipo 29 (Bosque Tropical lluvioso de bajura ubicado sobre formas de sedimentación aluvial de origen tectónico o de origen volcánico), considerado en el análisis de núcleos prioritarios como el que presenta mejores condiciones para ser incorporado en los planes de manejo para conservación. Este macrotipo que no se encuentra representado en el sistema de áreas protegidas del país, ni cuenta con ninguna propuesta, depende para su conservación de propietarios privados (García 1996).

¹⁵ Rojas, L. 2006. Corredores biológicos en ACLA-P y ACOSA (entrevista personal). Coordinación Nacional de Corredores Biológicos, SINAC, San José, CR.

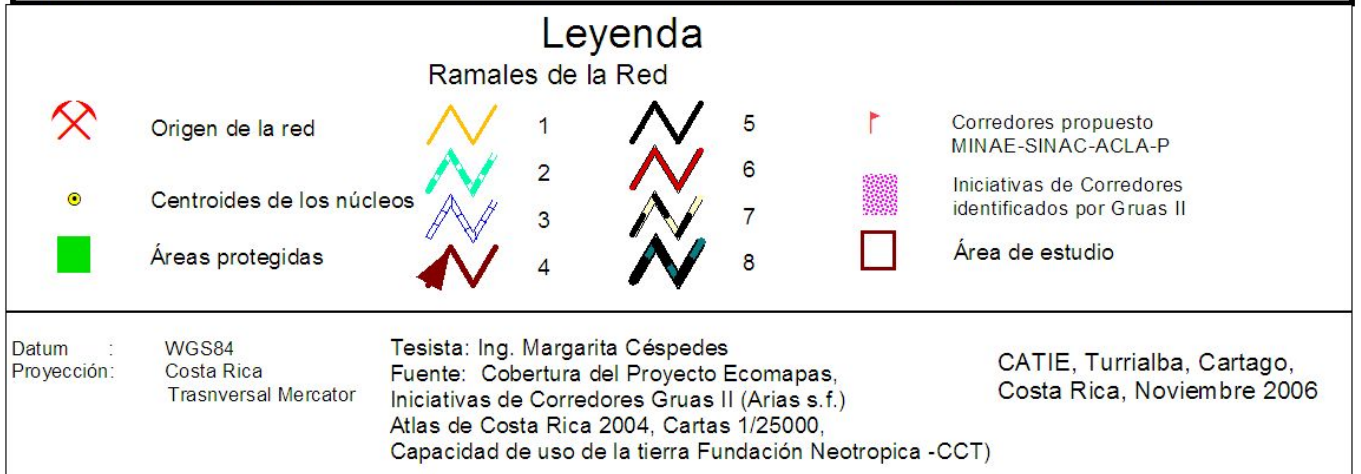
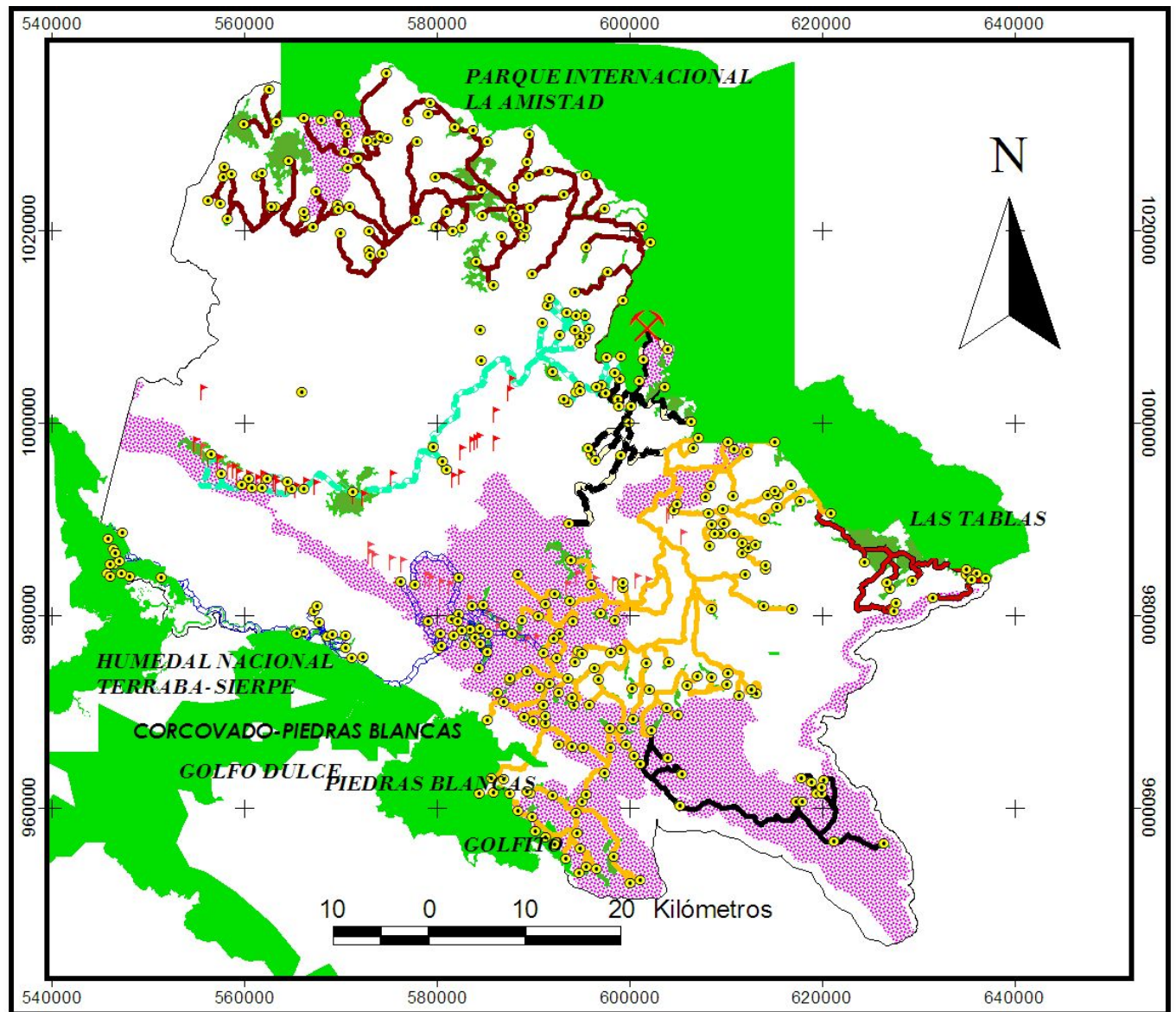


Figura 13. Ramales de la red de conectividad estructural entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA.

Sobre el Ramal 2 existe una propuesta del personal del Área de Conservación La Amistad Pacífico de oficializar el Corredor Boruca – Cabagra (Comunicación personal¹⁶). Aunque se fijan diversos objetivos para la creación de este corredor, desde la protección de hábitat no representados, el alto grado de endemismo y las migraciones de especies de interés, no cuenta con una ficha técnica con datos más precisos, siendo quizás una referencia importante en este ramal la posible construcción del Proyecto Hidroeléctrico Boruca, que aunque no pasa por la misma red, estaría dentro de su área de influencia (Gamboa 2006). En ese sentido, García (1996), en el informe final del Proyecto Gruas I, señaló al Instituto Costarricense de electricidad (ICE) como un usuario importante de los servicios ambientales de protección de la recarga acuífera que abastecen sus proyectos hidroeléctricos actuales y potenciales, y como tal podría contribuir activamente en la consolidación de este ramal de conectividad.

Para constituir un eje que podría enlazar las iniciativas locales de corredores biológicos mencionadas articulándolas en una sola red hace falta iniciativas de corredores sobre las quebradas Zumbona, Brusmalis, Salitre, Simar, Hurri y los ríos Siak, Jaba, Choba, Cotón, La Palma y Coto Brus. Además, aunque casi la mitad de la Reserva Indígena Guaymí de Coto Brus ya se encuentra bajo pago por servicios ambientales (FONAFIFO s.f.), aún hace falta consolidar su integración a nivel de la iniciativa de red propuesta. La unión de todas las iniciativas locales en una sola red permitiría consolidar el corredor altitudinal que conecte la Cordillera de Talamanca con las áreas protegidas de ACOSA.

De los ocho ramales descritos sólo dos cumplían con el objetivo de la presente investigación que es conectar la Reserva de Biosfera La Amistad (RBLA) y las áreas protegidas de ACOSA. Sin embargo durante el taller de validación de expertos en manejo de recursos naturales locales se señaló la no viabilidad del Ramal 3 por presentar una cobertura actual significativamente degradada, por su paso por extensos cultivos de arroz, esto sucede porque no hay alternativa de “menor costo” que permita conectar el Humedal Terraba Sierpe con la Fila Costeña, razón por la cual, esta alternativa fue descartada. Por estas razones, el ramal seleccionado para realizar los análisis de estabilidad del sistema en la tercera fase de esta investigación fue el que conecta ACOSA y ACLA-P desde el PILA y la Zona Protectora Las Tablas llegando al Parque Nacional Piedras Blancas y el Refugio de Vida Silvestre Golfito, que en adelante se llamará Alternativa 1.

¹⁶ Rojas, L. Corredores biológicos (documento en archivo digital). San José, CR, SINAC.

Cuadro 18. Áreas protegidas y corredores biológicos conectados por los ramales de la red de conectividad estructural inicial entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA.

Ramal	Lugares donde se extiende	Conexiones
1	Ríos Coto Brus, Coto Colorado y/o Esquinas, Reserva Indígena Guaymí de Coto Brus	Nace en el PILA y la Zona Protectora Las Tablas y se conecta con el Refugio Nacional de Vida Silvestre Golfito, Humedal Palustrino Laguna del Paraguas, Refugio Nacional de Vida Silvestre Donald Peter Hayes y Parque Nacional Piedras Blancas. Corredores biológicos Corcovado-Piedras Blancas, Fila Cruces y Fuente de la Vida La Amistad.
2	Río General, Territorios indígenas Terraba y Brunka de Boruca	Nace en el PILA y se conecta con el Corredor Biológico Paso de la Danta
3	Río Sierpe	Nace en la Reserva Indígena Guaymí de Coto Brus y se conecta con el Humedal Terraba Sierpe
4	Zona de amortiguamiento del PILA, Territorios Indígenas Bribri de Cabagra, Cabecar de Ujarraz, Bribri de Salitre	Nace en el PILA y se conecta con el Parque Nacional Chirripo y Corredor biológico Río Cañas.
5	Sobre la cuenca del Río Lagarto hasta el Río Corredor, pasar por el Territorio Indígena Guaymí Abrojos de Montezuma	Nace en la Reserva Indígena Guaymí de Coto Brus y se conecta hacia Panamá por el Corredor Biológico Fila Cruces.
6	Ríos Canasta y Cotón, Finca Cotón	Nace en Las Tablas y se conecta hacia la Milla Fronteriza y Panamá.
7	Ríos Guineal, Platanillal y Singri	Nace en el PILA y conecta al Corredor Biológico Quetzal Tres Colinas.
8	Sobre el Río General	Es un ramal de la red 2. No conecta núcleos importantes

4.2 Etapa 2: Dinámica del cambio de uso de la tierra en los escenarios de rutas de conectividad planteados

4.2.1 Composición y estructura del paisaje en el periodo 1987 a 2003 en el área de estudio

El área total que se trabajó en la modelación de los tres escenarios de cambio de uso de la tierra fue de 444.437 ha para 11 clases de usos de la tierra tomando en cuenta las nubes y sombras¹⁷. La

¹⁷ Las nubes y sombras para cada año tienen extensiones diferentes por lo que para homogenizar se menciona el dato del área incluyendo las nubes y sombras.

estructura de los usos a través de los tres períodos ha cambiado pasando de tener como primera categoría al pasto en el año 1987 (36,0%), hacia una distribución más equitativa de los usos de la tierra, donde el bosque ocupa, por muy poca distancia del siguiente uso, el primer lugar en el año 2003 (28,2%) (Cuadro 19). Esto a pesar que el “bosque” en términos globales ha presentado un panorama temporal de estabilidad en el periodo de 1987 al 2003¹⁸, se debió principalmente a la tendencia decreciente de la categoría de uso “pastos”. Al revisar estas cifras no hay que perder de vista el hecho de que la estabilidad de la cobertura del bosque en el área de estudio no significa que no exista pérdida en diversidad de la biomasa, puesto que la degradación gradual del bosque no es reflejada en los datos gruesos de cobertura y aún es más difícil de estimar que esta (Kleinn et ál 2002).

Cuadro 19. Usos de la tierra entre la Reserva de Biosfera de La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA, en los años 1987, 1997 y 2003, clasificados con base en Imágenes Landsat.

Usos de la tierra	Año					
	1987		1997		2003	
	ha	%	ha	%	ha	%
Bosque	132.943	29,9	132.504	29,8	125.236	28,2
Manglares y otros humedales	6.539	1,5	6.755	1,5	5.420	1,2
Charrales, tacotales y plantaciones	75.726	17,0	43.093	9,7	90.084	20,3
Café	40.243	9,1	31.973	7,2	35.967	8,1
Palma de aceite	1.753	0,4	6.686	1,5	9.871	2,2
Pastos y caña	159.886	36,0	180.753	40,7	119.069	26,8
Cultivos anuales	15.574	3,5	11.105	2,5	11.251	2,5
Piña	3.583	0,8	5.514	1,2	7.199	1,6
Agua	4.703	1,1	4.262	1,0	4.354	1,0
Infraestructura	1.763	0,4	2.747	0,6	2.405	0,5
Nubes y sombras	1.724	0,4	19.045	4,3	33.581	7,6
Total	444.437	100,0	444.437	100,0	444.437	100,0

¹⁸ En este análisis el efecto de las nubes parece afectar el crecimiento del bosque en el año 2003, por lo que en los posteriores análisis las nubes son separadas de las áreas en comparación.

No obstante, hay que señalar que la categoría “pastos” determinada en este estudio por sus características espectrales, agrupa dentro de ella diferentes asociaciones presentes en el área de estudio, entre las que destacan las descritas en el estudio del contexto ambiental del Proyecto Hidroeléctrico Veraguas, para la cuenca del Río Térraba, como “pastizales mixtos”, “sabanas” y “pastizales con palma real” cuya riqueza como asociaciones varía entre 47 y 431 especies vegetales entre arbóreas, arbustivas y herbáceas, de acuerdo al estudio de contexto ambiental del proyecto Hidroeléctrico Boruca elaborado por el ICE con base en una recopilación de investigaciones en la cuenca del río Térraba (Gamboa 2006).

En términos generales, los usos de la tierra diferentes del bosque en el área de estudio para este período han mostrado mayor dinámica que la clase de uso “bosque”. El tercer uso a nivel de composición porcentual, conformado por los “charrales, tacotales y plantaciones” al comparar 1987 (17,04 %) con el 2003 (20,27 %) aparentemente tendría una variación porcentual pequeña sin embargo existen diferencias importantes en cuanto a lo que pasó en el escenario 1997 (9,70%), donde probablemente este 9,7% está conformado mayormente por la porción de plantaciones que involucra esta categoría.

La “palma de aceite” y el “cultivo de piña” que cubrieron respectivamente el 2,2% y 1,6 % de la superficie del área de estudio en el año 2003, son dos usos que a pesar que todavía cubren una parte muy pequeña del área han mostrado una dinámica creciente acelerada en el período de análisis. En el caso del agua y la infraestructura, los pequeños cambios que se observan en la superficie total son más debidos a los errores de la clasificación que errores apreciables por el método utilizado, esto debido a que los cambios aparentan ser más grandes cuando más pequeñas son las áreas iniciales (como es el caso de estos dos usos), por lo que en los siguientes análisis no se consideran.

El uso de indicadores como la estructura y otras características espaciales del paisaje es señalado por Campos y Finegan (2002) en la dimensión biológica de sus principios, criterios e indicadores para la evaluación de corredores biológicos, por cuanto tener los datos de tendencia en el tiempo nos podrían permitir establecer una línea base para el manejo futuro de esta área. Gustafson (1998) en un estudio donde analiza la utilidad de las métricas del paisaje indica que estas pueden ser apropiados indicadores de filtro grueso de las funciones de los ecosistemas.

En el área de estudio, los resultados de las métricas de los parches a nivel de paisaje y por clase de uso de la tierra brindan una mejor aproximación a los cambios en la fragmentación del paisaje que se dieron entre los tres períodos analizados. Hay que tomar en cuenta que estos resultados dependen

de la escala utilizada (Burel y Baudry 2002, Waldhardt 2003). Para la selección de la escala y resolución en este análisis consideró lo siguiente: que el objetivo de este era comparar los tres escenarios temporales, los errores provenientes del método y la resolución original de las fuentes de información. Así se mantuvo la escala de 1/50000 usada en la primera etapa y se aumentó la unidad mínima mapeable (UMM) de 2 ha a 20 ha. Esta escala y resolución se eligió también considerando que el número de parches en el área de estudio si se trabajaba con la UMM de 2 ha superaba los 20.000 parches, lo que dificultaba realizar los análisis por la capacidad de los software y el equipo utilizado. Las diferencias en cuanto al área total entre los escenarios analizados se deben a que el programa no toma en cuenta para los cálculos las clases agua y nubes y sombras (Cuadro 20).

Cuadro 20. Métricas de los parches a nivel de paisaje en los tres escenarios temporales en el área de estudio.

METRICAS	1987	1997	2003
Área total (ha)	438.010	421.113	408.446
Número de Parches	1.416	1.295	1.789
Tamaño de parche promedio (ha)	309	325	228
Coefficiente de variación del tamaño de parche	806	1.277	632
Densidad de núcleos de parches (No. Núcleos/100 ha)	0,78	0,68	0,94
Índice de diversidad de Shannon	1,52	1,47	1,62
Índice modificado de diversidad de Simpson	1,33	1,20	1,43
Índices de equitatividad de Shannon	0,69	0,67	0,74
Índices de equitatividad de Simpson	0,83	0,79	0,86
Índice modificado de equitatividad de Simpson	0,60	0,55	0,65
Promedio de Distancia al vecino más cercano (m)	411	398	318
Índice de agregación	54,22	57,38	60,77
Índice de proximidad media	14.174,0	38.202,0	7.121,1

Los cambios más sobresalientes al analizar las métricas a nivel de paisaje (Cuadro 20) son el incremento del número de parches que pasa de 1.416 en el año 1987 a 1789 en el 2003; y la disminución del tamaño promedio de parche. Esta tendencia se observa aún si consideramos la desviación estándar del tamaño de los parches que aunque es alta nos permite distinguir que en el año 2003 el tamaño de los parches fue menor que en el año 1987. Estas métricas señalan que el paisaje pasa por un proceso de fragmentación, del mismo modo que la densidad de núcleos de parches, que aumentó de 0,78 en el año 1987 a 0,94 en el 2003; mientras que se nota una tendencia

a la agregación por la disminución de la distancia al vecino más cercano y el crecimiento del índice de agregación.

En cuanto a la diversidad del paisaje, en el período analizado se observa un crecimiento en los índices que muestran la equitatividad (índices de Shannon y Simpson) y diversidad (índice de Shannon). Dado que estos índices utilizan el número de clases paralelamente al número y tamaño de parches, al mantenerse el número de clases constantes su crecimiento se debe a la disminución del tamaño de los parches y al crecimiento del número de parches totales que hacen que el paisaje presente una configuración más heterogénea. La clase dominante inicial que fue el pasto ha pasado a ceder su dominancia hacia otras categorías como el bosque y otros cultivos intensivos. Sin embargo, el comportamiento de las métricas varía por cada uso del suelo, mientras que algunos usos se presentan cada vez más disgregados, otros presentan el proceso contrario (Cuadro 21).

El “bosque” que ha mantenido su porcentaje de cobertura en los tres escenarios de análisis situándose en el estatus de fragmentado, de acuerdo a la categorización que hace McIntyre y Hobbs (1999), muestra a través de las métricas de tamaño que esta pasando por procesos de fragmentación por el incremento del número de parches y la disminución de su tamaño promedio (Cuadro 21). El análisis de las métricas correspondientes a proximidad, contagio y dispersión, refuerzan la hipótesis que en el “bosque” esta pasando por procesos de fragmentación, pues si bien el promedio de la distancia al vecino más cercano esta disminuyendo (probablemente influenciado por las distancias cortas entre bosques que recientemente se han fragmentado), la distancia promedio entre parches ha crecido notablemente en este período (Anexo 17).

Entre los usos diferentes al “bosque”, los “charrales” están pasando por un proceso inverso a lo que pasa en los “bosques”, pues pasan de 498 a 300 parches y de un área de 152 a 300 ha por parche en el mismo período (1987-2003), denotando que esta categoría se está agregando.

En un estudio comparativo Kleinn et ál (2002) encontraron que hasta antes de los años noventas los estudios realizados sobre cobertura forestal para Costa Rica muestran una clara tendencia de pérdida de cobertura, a partir de allí los datos se muestran irregulares, lo cual es atribuido por estos autores al abandono de áreas de pasturas con el consiguiente desarrollo de bosques secundarios, los que al ser cuantificados de diferente modo por cada estudio genera inconsistencias al comparar cifras. Por ejemplo, en el mapa de uso de la tierra de Costa Rica del año 1992 disponible en el Atlas de Costa Rica (ITCR 2004), en la categoría “bosques” tenemos 48,1 % de la superficie del área de estudio, cifra que difiere significativamente de los resultados de esta investigación donde para el

año 1987 encontramos en esta categoría sólo el 29,91 % de la superficie. En este caso, fue posible a través de la entrevista con uno de los autores de este mapa¹⁹ encontrar que la diferencia, además de

Cuadro 21. Estadísticas del tamaño de los parches por tipo de uso de la tierra en los tres escenarios estudiados.

Uso de la tierra	Año	Número de Parches	Tamaño de parche promedio (ha)	Coefficiente de variación del tamaño de parche	Desviación estándar del tamaño de parche	Densidad de núcleos * (No. Núcleos /100 ha)
Bosques	1987	253	525	685	3.597	0,10
	1997	261	508	603	3.063	0,13
	2003	316	397	556	2.208	0,25
Manglares y otros humedales	1987	16	409	219	897	0,00
	1997	13	519	196	1.019	0,01
	2003	21	262	272	712	0,01
Charrales, tacotales y plantaciones	1987	498	152	215	327	0,34
	1997	388	111	291	323	0,25
	2003	300	300	404	1.213	0,30
Café	1987	102	395	729	2.878	0,09
	1997	48	666	595	3.965	0,03
	2003	104	346	590	2.044	0,07
Palma de aceite	1987	17	103	104	108	0,01
	1997	36	186	182	338	0,01
	2003	41	242	204	494	0,01
Pastos	1987	475	337	912	3.069	0,22
	1997	478	378	1.668	6.307	0,23
	2003	907	133	884	1.173	0,25
Cultivos intensivos	1987	24	649	321	2.081	0,01
	1997	19	584	171	1.001	0,01
	2003	52	217	231	500	0,02
Piña	1987	9	398	141	559	0,00
	1997	10	551	111	612	0,00
	2003	14	514	134	687	0,00

*Área interior de los parches.

¹⁹ Rodolfo Méndez, Ministerio de Agricultura, San José Marzo 2006.

la escala y método empleado en el estudio de 1992, estriba en que se consideró como “bosques intervenidos” a una clase mixta constituida por parches de bosque y otros usos que fueron digitalizados juntos. No obstante, las cifras estimadas en este estudio para el año 1997, muestran coincidencia con el 29 % de de “bosque” calculado a través del mapa de cobertura elaborado por Calvo et ál (1999).

En la categoría de uso “bosque” a través de las métricas de tamaño se identificaron en el año 1987, siete parches mayores a 1.000 ha, tamaño de área de bosque que los expertos nacionales en Costa Rica consideran adecuado para ser núcleo prioritario a nivel nacional²⁰(Figuras 14a). El parche más grande tenía 37.299 ha y estaba formado por los bosques en las partes altas de tres territorios indígenas ubicados en el cantón de Buenos Aires, en la zona noreste del área de estudio. Este parche se dividió en el escenario 1997 en dos de 20.135 ha y 11.633 ha y otros parches menores. En el año 2003 no fue posible comparar este parche puesto que una parte importante del mismo se encontraba cubierto de nubes (Figuras 14c). El siguiente parche más grande medía 31.967 ha y estaba conformado por los bosques en la actual Zona Protectora Las Tablas, Finca Las Alturas del Bosque - Cotón y otros bosques adyacentes. Este parche se ha mantenido constante si no tomamos en cuenta las áreas cubiertas por nubes en los años comparados, sin embargo no es posible cuantificarlo adecuadamente debido al efecto de las nubes. El tercer parche más grande ubicado en Fila Cruces sobre la Reserva indígena Guaymí de Coto Brus y otros bosques adyacentes tenía una extensión de 29.668 ha en el año 1987, este parche creció ligeramente en el año 2003 a 29.915 ha. El cuarto parche en orden de tamaño está ubicado adyacente al Refugio Nacional de Vida Silvestre Golfito en la zona suroeste del área de estudio, en 1987 medía 3.240 ha y creció en el año 2003 hasta alcanzar 7.732 ha integrando otros parches cercanos.

Los procesos observados a nivel de los parches mayores a 1.000 ha permitieron distinguir que los cambios no se están dando en forma homogénea en toda el área de estudio, más bien existen zonas como el primer parche donde hubieron procesos de fragmentación, mientras que en el área correspondiente al cuarto parche se observó procesos de agregación y recuperación de área de bosques.

²⁰ Taller de expertos en Conservación para diseñar redes de conectividad a nivel nacional (Gruas II)

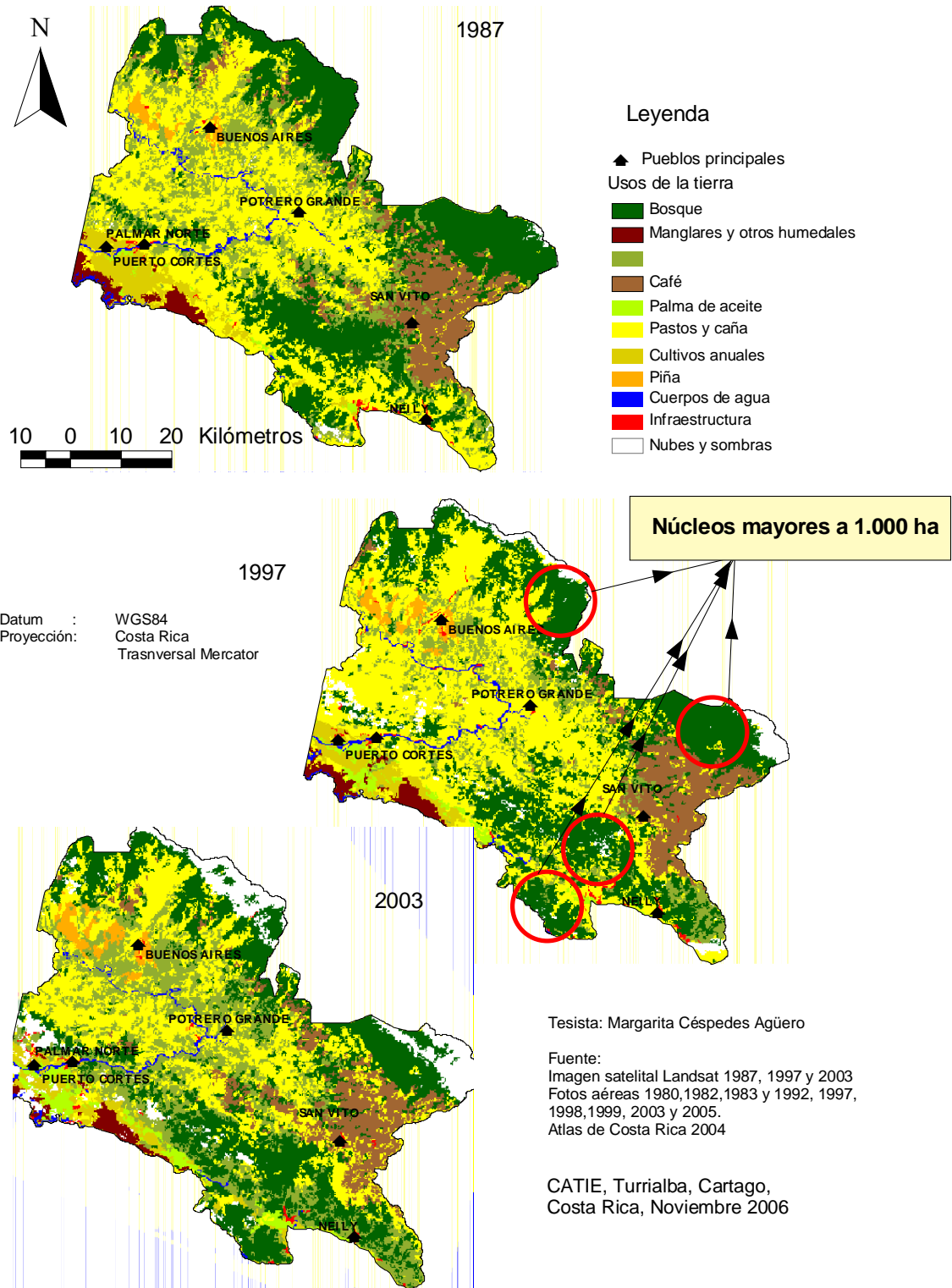


Figura 14. Parches de bosques mayores a 1.000 ha y usos de la tierra entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas del Área de Conservación Osa: año 1987, año 1997 y año 2003.

4.2.2 Análisis multitemporal de los cambios de uso del suelo y los factores que los han influenciado

Es preciso señalar, antes de detallar los cambios medidos, que en este estudio no se pretendió estimar exactamente la tasa de deforestación y otros cambios para el período analizado, sino realizar una comparación de la estabilidad del paisaje entre diferentes alternativas de redes de conectividad y sondear las tendencias a nivel de paisaje en cuanto a la dinámica del uso de la tierra, considerando que los errores en la estimación del cambio de uso se distribuyen en forma aleatoria.

Aunque, la cuantificación de los parches de áreas y las estadísticas de las métricas del paisaje muestra una aproximación de los cambios que se presentan a nivel espacial y temporal, para comprenderlos mejor es necesario conocer los procesos de los que forman parte, por cuanto la dinámica en una clase de uso podría ser por ejemplo producto de movimientos migratorios temporales (por tanto probablemente reversibles) de la población. Debido a esto se consideró necesario examinar paralelamente la información proveniente de las entrevistas con los actores locales sobre los factores que influyen los cambios de uso de la tierra (Cuadro 22). Los factores biofísicos no se describen aquí puesto que aunque al solicitar la priorización de factores a los entrevistados aproximadamente un 20% considera que son los más importantes, cuando se preguntó por los factores específicos que consideran primordiales por tipo de cambio, no son mencionados.

La apreciación de la mayor parte de los actores locales, en cuanto al orden de importancia de los factores que influyen en el cambio de uso de la tierra fue que los factores sociales tienen la mayor importancia, seguido por los factores económicos (Figura 15). En el Área de conservación Osa, la menor proporción de personas consideraron importante a los factores políticos, mientras que en el Área de Conservación La Amistad Pacífico el menos importante fue los factores biofísicos.

En términos generales, de acuerdo a la caracterización de los actores locales de ambos períodos (Cuadro 22), se percibió que el período 1997 al 2003, resultó más favorable hacia la conservación que el período 1987 a 1997. Otro aspecto importante, que se logró corroborar en el proceso de consulta con respecto de los procesos de cambio, fue que el cambio no se ha dado en forma homogénea en toda el área de estudio, lo que coincide con los resultados del análisis de las métricas de los parches de bosques analizados.

Precisamente, entre los factores de cambio señalados como importantes por los actores locales pertenecientes al Área de Conservación La Amistad Pacífico, los incendios forestales ocuparon un lugar de importancia. Las Sabanas de Ujarrás, fueron señaladas como uno de los lugares principales donde ocurrían los incendios, lugar donde se ubica el primer parche de bosque analizado en el acápite anterior. El hecho de verse esta zona afectada periódicamente por incendios forestales concordó con el proceso de fragmentación que se trasluce del análisis de las métricas de este parche de bosque. Con base en los reportes oficiales se estimó que entre los años 1998 y 2003 habrían sido

Cuadro 22. Factores mencionados por los actores locales de ACLA-P y ACOSA, como los que más han influenciado los cambios de uso de la tierra en el período de estudio.

Factores	1987 -1997	1997 – 2003
Sociales y culturales	Crecimiento poblacional y bajo índice de desarrollo social. Carencia de fuentes de empleo impulsa a la gente a utilizar la madera del bosque Quema de pastos provoca incendios forestales.	El crecimiento poblacional se ha detenido en una parte importante del área, existen movimientos migratorios por búsqueda de fuentes de empleo hacia las ciudades más grandes y hacia el exterior del país. Organismos no gubernamentales incentivan prácticas más orientadas a la conservación. Se han incrementado las medidas para la mitigación de incendios a través de una serie de actividades organizadas en planes de prevención de incendios forestales.
Económicas	Caída de los precios de la carne genera abandono de tierras. Caída del precio del café. Precios de la palma y piña, incentivan la inversión privada nacional y extranjera en el cultivo de piña y palma.	Iniciativas para buscar sistemas más intensivos en cuanto al manejo de pastos. Búsqueda de nichos de mercado para el café (café orgánico, café conservacionista, etc). Desarrollo agroindustrial mantiene la inversión privada en el cultivo de piña y palma. Crecimiento del mercado de venta de tierras con fines turísticos y de conservación.
Políticas	Se mantienen los incentivos para la ampliación de la frontera agrícola, como las parcelaciones con fines agropecuarios. Incentivos para reforestación	Se mantienen los incentivos para mejorar el hato, aunque ahora se busca realizar una ganadería más intensiva. Se mantiene el sistema de titulación de tierras en pequeñas parcelas, sin embargo hay una tasa creciente de transferencia de las propiedades a extranjeros y/o propietarios grandes ya sea para fines de conservación, turismo o usos más intensivos. La ley forestal 7575 del año 1996, restringe el cambio de uso de la tierra, sin embargo las leyes son poco efectivas Entran en funcionamiento incentivos para protección de bosques a través de pago por servicios ambientales (PSA), sin embargo se considera que aún son insuficientes para la demanda que existe y por las dificultades en cuanto a la propiedad de la tierra. Compra de tierras por parte del estado para recuperar los territorios indígenas.

afectadas aproximadamente unas 2.611 ha entre bosques y tacotales en esta área de conservación (Cuadro 23). El fenómeno contrario se apreció a través de las métricas en el parche de bosque sobre la Fila Cruces, el cual mostró un incremento de área en el período de 1987 al 2003, esto es explicado por los actores locales con el factor venta de tierras para conservación en la cuenca alta del Río Coto Colorado que fue manifestado por los funcionarios del MINAE-Río Claro.

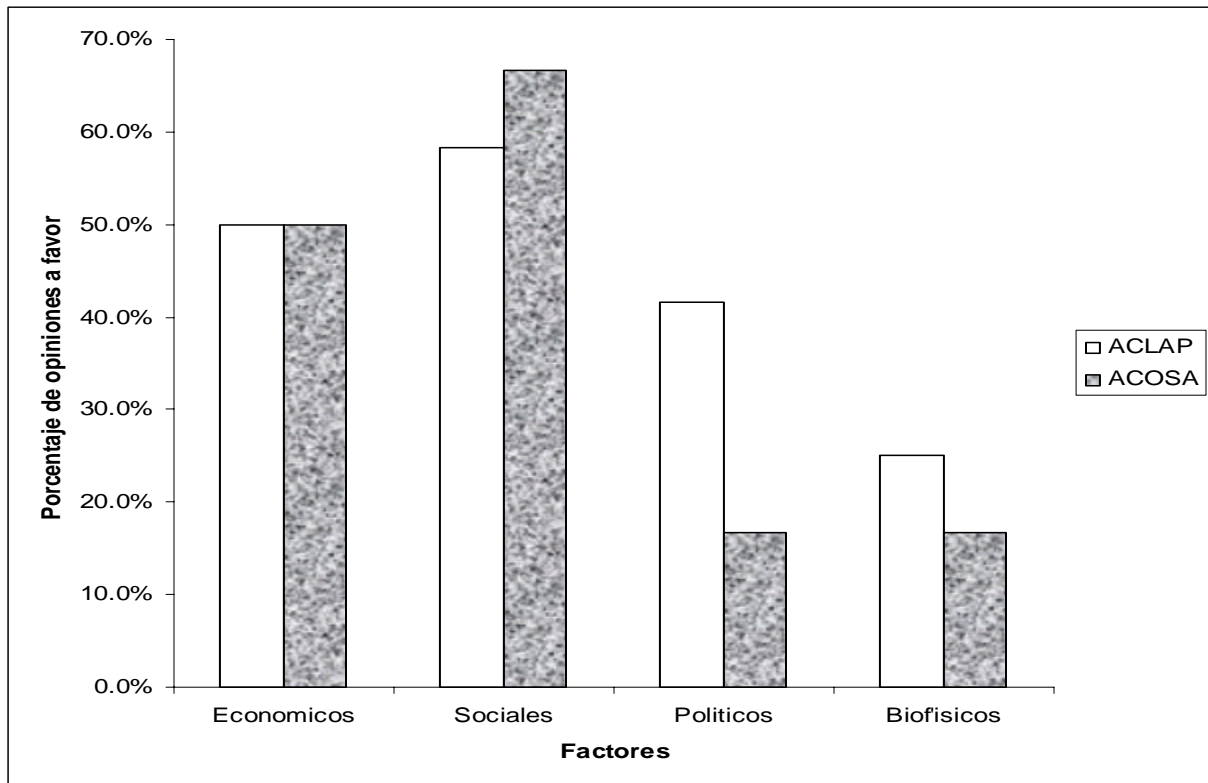


Figura 15. Factores que más han influenciado los cambios en el uso de la tierra de acuerdo a la apreciación de los actores locales.

Los cambios por categoría de uso de la tierra para los tres períodos estudiados (ver metodología en acápite 3.2.2.3.3) muestran que los cambios para el período 1987-2003 no resultaron de la acumulación de los períodos intermedios que lo conforman (Figura 16). En algunas categorías de uso de la tierra en un período el uso puede haber sido decreciente, mientras que en el otro período el uso crece, o viceversa, lo que resulta en que los cambios en el período total podrían aparentar ser pequeños cuando en los períodos intermedios no lo han sido. Estas cifras de cambio, producto de la comparación de las superficies totales por cada uso de la tierra no muestran los cambios espaciales

que podrían estar ocurriendo puesto que si se pierde área en un lugar y se recupera la misma superficie en otro lugar aparentemente podría no haber cambios, cuando si están ocurriendo.

Cuadro 23. Tipo de vegetación afectada por incendios forestales en el Área de Conservación La Amistad Pacífico. Período 1998-2003.

Tipo de vegetación	Área por año (ha)						Área total (ha)
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	
Bosques	24	56	92	495	469	1	1.137
Plantaciones	3	4	4	47	20	0	78
Tacotal	33	58	107	673	86	2	959
Charral	20	44	161	1.067	827	6	2.125
Pastos	59	73	468	1.881	392	17	2.890
Pastos y charral	39	65	9	0	75	1	189
Yolillal	12	12	1	13	0	1	39
Pastos y typha	0	0	0	0	892	0	892
Otros	13	0	125	782	439	5	1.364
Área total afectada	203	312	967	4.958	3.200	33	9.673

Fuente: Cifras estimadas con base en los reportes oficiales de incendios por área de conservación (Lobo sf)

De acuerdo a la Figura 16, se puede apreciar que el uso que más ha crecido en forma constante en los dos períodos de análisis, con respecto al área que tenía al inicio del período, es el cultivo de palma de aceite con un crecimiento acumulado de 470% aproximadamente. El crecimiento de este cultivo se ha debido al incremento en los precios internacionales del aceite que pasó de US\$300/ ton a los inicios de los años noventa, hasta alcanzar los US \$670 para 1998 (Quirós y Hartwich 2003). Las principales empresas a cargo de este cultivo en la zona son Palma Tica, del Grupo Numar y Cooperativa Agroindustrial de Productores de Palma Aceitera (Coopeagropal). El 50% de la superficie actual estimada de este cultivo fue en el año 1987 cultivos de arroz y banano, y un 30 % fueron pastos. Contra lo que se suponía inicialmente los “charrales” y “bosques” representan menos del 1% cada uno del área actual de Palma de aceite (En los Anexos del 20 al 22 se presentan los cambios que dieron origen a cada cobertura por cada período).

Es necesario señalar que en cuanto a los cambios de la palma, que es posible que esta descripción no los ajuste adecuadamente en el tiempo, puesto que en una primera etapa la palma aparenta ser un pastizal a la escala que se trabajó, así el área de palma reportada para el año 1987, probablemente es menor de la que ya había sido instalada. Se observó en el campo, que este cultivo seguía

extendiéndose hacia zonas más alejadas en tierras de pequeños agricultores. Esto se debe a que las empresas productoras de palma con el objetivo de crear nuevas zonas de cultivo o mantener las existentes, promueven y ofrecen entre los productores independientes atractivos planes de financiamiento, en los cuales se comprometen a brindar la asesoría técnica (denominado “paquete

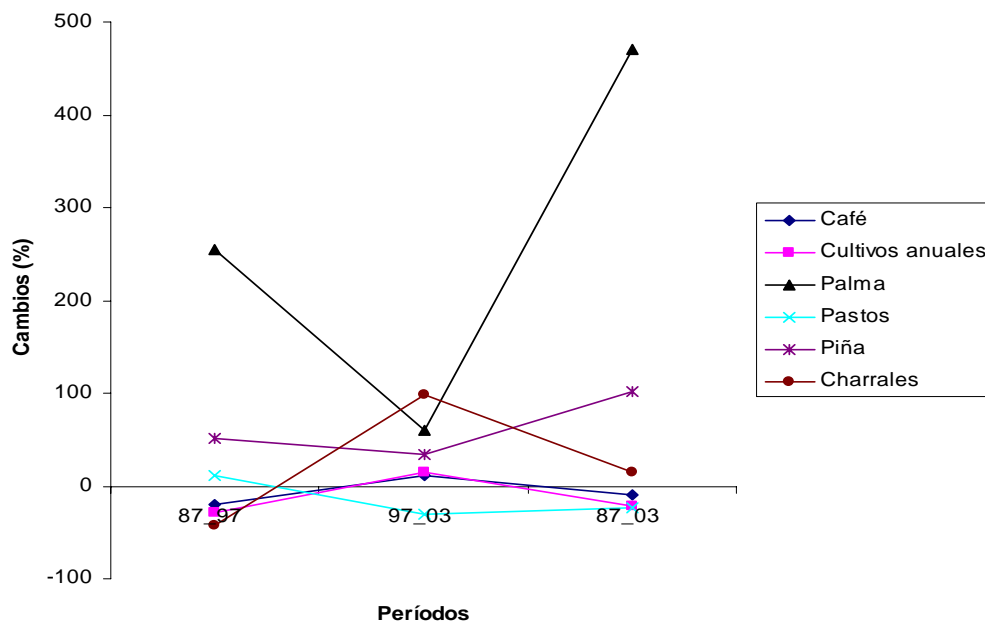
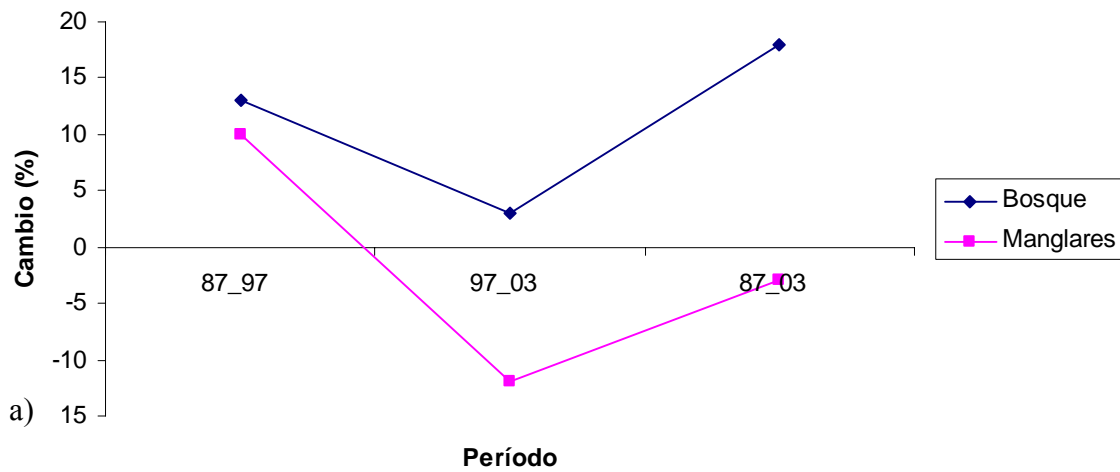


Figura 16. Cambios por categoría de uso del suelo por período considerando los escenarios de errores de clasificación: a) coberturas naturales y b) usos agrícolas (se omitieron los errores con fines de claridad del gráfico, Anexo 18)

tecnológico”) gratuita para la siembra y el manejo eficiente del cultivo, lo que ha generado que la proporción del cultivo de palma en manos de agricultores independientes se haya incrementado hasta un 14 % para el año 2002 (Quiróz y Hartwich 2003).

El siguiente uso que más ha crecido es el cultivo de piña con aproximadamente un 102% de crecimiento en el período de 1987 al 2003. El 57 % del área de este cultivo estimada para el año 2003 (7199 ha) ya había sido establecida en el año 1987, mientras que un 36 % eran “pastos” y un 17% eran “Charrales”. Este cultivo está concentrado en la zona noreste del área de estudio en la provincia de Buenos Aires de Puntarenas, principalmente en tierras de la Compañía Pineapple Development Company (PINDECO) división de la compañía trasnacional Corporación de Desarrollo Agrícola Del Monte y principal empresa productora de piña a nivel de Costa Rica, la cual destina el 80% de su producción para la exportación (Acuña González 2005). Aunque no se analizó la imagen correspondiente al año 2006, se pudo apreciar en campo que el cultivo de piña continuó creciendo en los años posteriores al período de análisis, involucrando a una nueva empresa (Frutex S.A.) al norte del área de estudio. La extensión de piña incorporada por la nueva empresa es de aproximadamente 1000 ha de acuerdo a los actores locales, las que no se encuentran cuantificadas en los datos presentados en este documento, puesto que es posterior a la última imagen con la que se trabajó (2003), con lo que se llegaría aproximadamente a 8.200 ha.

Los demás usos tienen cambios diferentes por período, distinguiéndose el cambio del uso de la clase “charrales” como la que presenta más diferencias en los dos períodos intermedios. En el primer período esta categoría muestra una tendencia a perder cobertura, mientras que en el segundo período (1997-2003) muestra un crecimiento de aproximadamente el 98% con respecto al área del año 1997. Se puede entrever la influencia de los factores económicos en el crecimiento en área de esta categoría, puesto que al haber caído los precios de la carne y estar creciendo el mercado de tierras con bosques secundarios para turismo y conservación, muchos propietarios están dejando desarrollar sucesiones secundarias, en especial aquellas áreas que se encuentran en zonas de interés paisajístico (con vista al mar) y zonas con mucha pendiente (con interés para organizaciones dedicadas a la conservación).

En la categoría de uso “pastos” también se han encontrado diferencias importantes en cuanto a los dos períodos analizados. En el período 1987-1997 los cambios son muy pequeños, manteniéndose casi estable esta cobertura, mientras que en el período 1997-2003 esta cobertura decrece aproximadamente en un 31%. La caída de los precios de la carne fue señalada como el principal

factor que influenció la reducción de las áreas dedicadas a pastizales. Este cambio está directamente ligado a los factores que han influenciado en el crecimiento de la categoría “charrales”, puesto que el área de esta clase en el año 2003, proviene en un 56 % de área que fue “pastos” en el año 1987. Aunque, se debe considerar también que parte de la pérdida de esta categoría está relacionada con el incremento de la superficie de los cultivos “piña” y “palma”.

La categoría de uso “bosque” ha presentado un crecimiento constante en los dos períodos analizados, acumulado entre los dos períodos un crecimiento de 18 %. Esto no refuerza la apreciación de los expertos que los cambios en los factores sociales, económicos y políticos que se dieron en el segundo período analizado (1997-2003) hubieran influenciado en estos cambios. No obstante como se pudo apreciar en el caso de los cambios en los parches más grandes de bosque, los cambios en esta categoría presentan variaciones espaciales que en el siguiente punto se analizará con mayor detalle. Analizando el origen del área bajo uso actual de bosque solo 72,2 % del área de bosques en el año 2003, provienen de áreas que fueron bosques en el año 1987, lo que indicaría que al menos un 28,8% de la cobertura de bosques en el 2003, son bosques secundarios (que en 1987 eran “charrales” ó “pastos”); aunque parte de este 72,2 % podrían haber sido bosques secundarios en el año 1987, para el 2003, estos bosques estarían en una fase de sucesión más avanzada.

El café tiene oscilaciones relativamente pequeñas en estos dos períodos. No obstante, la producción de café en la zona se ha reducido en un 50 % (Comunicación personal²¹), lo que es atribuido principalmente a la caída de los precios del café, que generó una disminución de las áreas de cultivo y la intensidad de manejo, reduciéndose la productividad de 3,680 a 920 kg/ha (Ramírez y Calvo (2003).

No obstante, las diferencias entre la presente estimación de la proporción de cobertura del café en el ámbito de estudio para el año 1997 y la estimada por el CATIE (2003)²² son mínimas (0,38 %), se considera que se necesitan estudios más detallados para evaluar los cambios en la cobertura de café, dada la confusión con los otros usos que presentó esta categoría en la matriz de error. Las dificultades para la clasificación del café estriban en la gran heterogeneidad estructural de esta clase de uso de la tierra en el área de estudio (observación personal de la autora).

²¹Esquivel, C. 2006. Situación actual del café en la zona de Coto Brus (entrevista personal), San Vito, CR, ICAFE.

²² En el Anexo 19 se presentan las estadísticas de la superficie de las parcelas de café reportadas en este documento para el ámbito de estudio.

4.2.3 Modelación de la probabilidad de cambio y sus implicaciones para la conectividad

Los cambios principales entre los usos de la tierra en el área de estudio para los tres períodos evaluados se pueden visualizar en la Figura 17, y las probabilidades de transición se presentan en el Cuadro 24. Los tipos de usos más estables en el tiempo (probabilidad de permanecer sin cambio mayor a 0,75) fueron las coberturas naturales “bosque” y “manglares”, calificadas en la primera fase como las más favorables a la conectividad (acápite 3.2.2.4), y los cultivos de exportación “palma” y “piña”, este último considerado como el más negativo a la conectividad. Para los demás usos la probabilidad de estabilidad oscila entre 0,27 (charrales) y 0,68 (cultivos anuales). En este último grupo, el café, se ha mantenido con una probabilidad de estabilidad entre 0,59 y 0,71, mientras que los otros usos (charrales, pastos y cultivos anuales) muestran una gran variabilidad entre los períodos. La estabilidad de los “charrales” ha aumentado en el segundo periodo intermedio pasando de 0,27 en el período 1987-1997 a 0,58 en el siguiente período, lo que aumenta la probabilidad de que puedan convertirse en bosques secundarios.

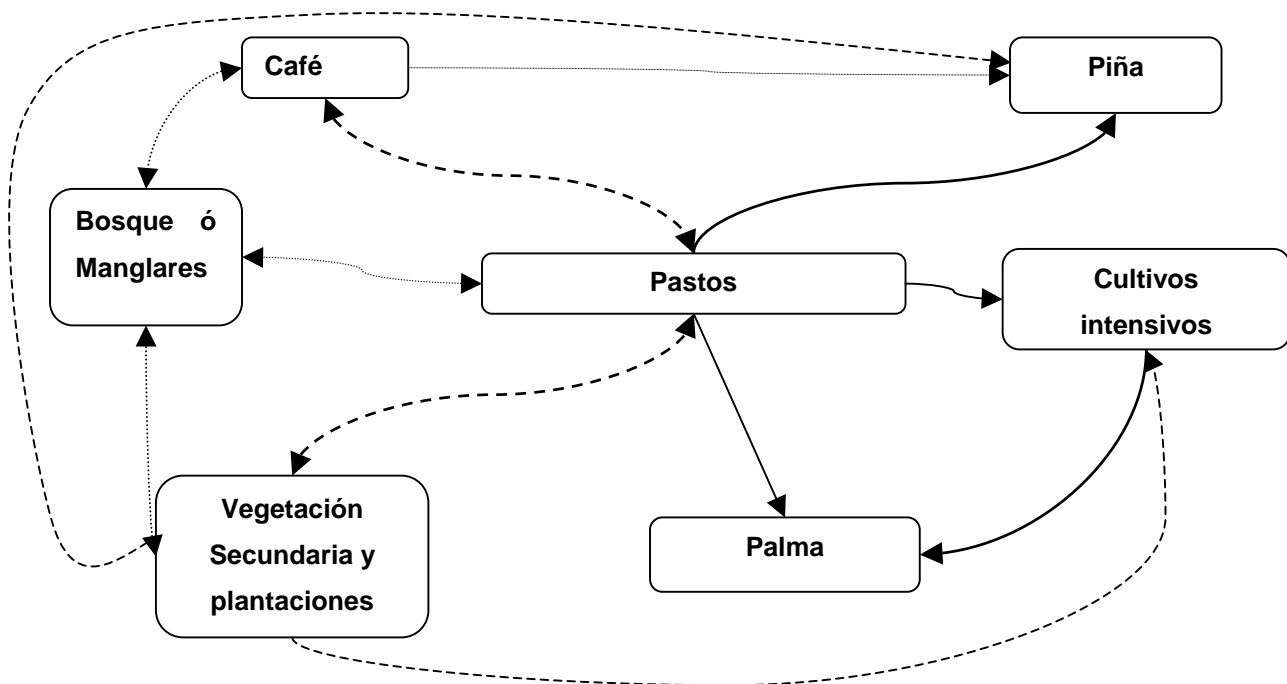


Figura 17. Diagrama de transiciones de categorías de uso de la tierra encontradas entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA entre 1987 y el 2003, la intensidad de la línea indica el grado del cambio.

Cuadro 24. Matrices de probabilidades Markovianas de transición entre usos de la tierra en el ámbito entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA, para los periodos: a) 1987-2003; b) 1997-2003 y c) 1987-1997.

a)		Año 2003							
	Usos de la Tierra	Bosque	Manglares	Charrales	Café	Palma	Pastos	Cultivos anuales	Piña
Año 1987	Bosque	0,83	0,00	0,05	0,03	0,00	0,08	0,00	0,00
	Manglares	0,00	0,75	0,00	0,00	0,02	0,09	0,08	0,00
	Charrales	0,21	0,00	0,43	0,08	0,00	0,26	0,00	0,02
	Café	0,06	0,00	0,01	0,59	0,00	0,33	0,00	0,00
	Palma	0,00	0,01	0,03	0,00	0,80	0,01	0,13	0,00
	Pastos	0,10	0,01	0,32	0,02	0,02	0,48	0,02	0,02
	Cultivos anuales	0,00	0,01	0,04	0,00	0,34	0,10	0,46	0,00
	Piña	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,94
b)		Año 2003							
	Usos de la Tierra	Bosque	Manglares	Charrales	Café	Palma	Pastos	Cultivos anuales	Piña
Año 1997	Bosque	0,83	0,00	0,08	0,03	0,00	0,05	0,00	0,00
	Manglares	0,00	0,77	0,01	0,00	0,04	0,03	0,07	0,00
	Charrales	0,15	0,00	0,58	0,06	0,01	0,18	0,01	0,01
	Café	0,08	0,00	0,01	0,71	0,00	0,20	0,00	0,00
	Palma	0,00	0,00	0,01	0,00	0,95	0,00	0,03	0,00
	Pastos	0,09	0,00	0,30	0,04	0,01	0,53	0,02	0,01
	Cultivos anuales	0,00	0,05	0,03	0,00	0,09	0,10	0,68	0,00
	Piña	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98
c)		Año 1997							
	Usos de la Tierra	Bosque	Manglares	Charrales	Café	Palma	Pastos	Cultivos anuales	Piña
Año 1987	Bosque	0,84	0,00	0,03	0,03	0,00	0,11	0,00	0,00
	Manglares	0,00	0,78	0,01	0,00	0,01	0,10	0,07	0,00
	Charrales	0,20	0,00	0,27	0,03	0,00	0,49	0,00	0,01
	Café	0,07	0,00	0,04	0,61	0,00	0,28	0,00	0,00
	Palma	0,00	0,02	0,03	0,00	0,60	0,16	0,09	0,00
	Pastos	0,08	0,00	0,11	0,01	0,01	0,74	0,02	0,01
	Cultivos anuales	0,00	0,03	0,02	0,00	0,23	0,20	0,49	0,00
	Piña	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,05	0,00	0,89

Nota: Las filas y columnas no suman 1.0 porque se eliminaron las que corresponden a las categorías agua e infraestructura.

Los cambios fueron considerados positivos, negativos y neutrales en cuanto a su afectación a la conectividad (ver metodología en el acápite 3.2.2.3.4). El cambio neutral con una probabilidad más

alta es de “cultivos anuales” –principalmente banano- a “palma” (0,34). Con respecto a la consideración de este cambio como neutral, cabe mencionar que son necesarios estudios más detallados, que demuestren los impactos positivos en la conectividad generadas por el manejo del cultivo de palma con respecto al uso anterior. Quirós y Hartwich (2003) señalan por ejemplo que este cultivo mantiene buenas condiciones de suelo y es manejado no tan intensamente como otros en la zona.

Entre las probabilidades de cambios que se consideraron neutrales, por sus similitudes en cuanto a definición espectral durante la clasificación y la inestabilidad en los cambios, las más altas correspondieron al cambio de “charrales” a “bosque” (0,15 a 0,21). Las demás probabilidades de cambio en esta categoría oscilaron entre 0,01 (“café” a “charrales”) y 0,08 (“bosques” a “charrales” o “café” a “bosque”), estas además de ser muy pequeñas para poder ser medidas como un indicador de estabilidad o inestabilidad involucran, como se mencionó en la metodología (acápite 3.2.2.3.4), cambios que son muy inestables en el tiempo por su alta tasa de reversión.

Entre las probabilidades de cambios que afectan negativamente a la conectividad destaca el paso de “bosques” a “pastos”. Este cambio destaca porque muestra una amplia distribución en todo el paisaje, presenta una mínima confusión entre sí durante la clasificación y por que se ha mantenido a lo largo de los tres períodos analizados. Las probabilidades de cambio de “bosques” a “pastos”, en el período acumulado 1987-2003, son menores a la suma de los cambios en los dos períodos intermedios (1987-1997 y 1997-2003), probablemente debido a que en los cambios en los períodos intermedios se incorporan las rotaciones típicas de la zona donde los pastos se remontan a “charrales” y en algunos casos hasta bosques secundarios (que en la clasificación realizada se incorporaron a la clase “bosques”), para retornar nuevamente a pastos. Pese a que la Ley forestal en Costa Rica prohíbe el cambio de uso del bosque secundario²³, se sigue dando por las dificultades prácticas para los funcionarios encargados del control forestal, para determinar cuando un “tacotal” se convierte en bosque secundario. La distribución de este cambio por todo el paisaje podría afectar la conectividad en los 8 ramales de la red de conectividad diseñada en la primera fase. Las probabilidades de cambio de “charrales” a “pastos” (0,18 a 0,49) forman parte de la rotación tradicional explicada anteriormente, lo que se deja entrever en las cifras de las probabilidades del

²³ Se considera a una sucesión secundaria como “bosque secundario” cuando comprende un área mayor a 2 ha, donde haya más de 60 árboles/ha de 15 cm o más de diámetro, en más del 70% de esa superficie.

cambio contrario de “pastos” a “charrales” (0,11 a 0,32). Además, a la rotación tradicional se sumaría el fenómeno que se ha dado en casi toda Costa Rica conocido como “abandono de pasturas²⁴” (Kleinn et ál 2002), que se puede interpretar a partir de la comparación del descenso de la probabilidad del cambio de “charrales” a “pastos” en el segundo período (0,18) con el incremento de la probabilidad del cambio contrario en el mismo período (0,30).

Las primeras áreas de pastos “abandonadas” son las que tienen menor rentabilidad y son aquellas más distantes a carreteras principales y con mayor pendiente (Burel y Baudry 1995). En estas áreas de pastos abandonados se distinguen pequeños parches “efímeros” que solo estuvieron presentes en el primer periodo de evaluación, y aquellos más grandes que se formaron en el primer período y se mantuvieron en el segundo (16 años de sucesión secundaria). Los primeros provienen de un tipo de manejo de pasturas tradicional, proveen hábitat nuevo para las especies que se dispersan con facilidad o que están presentes en los elementos leñosos del paisaje (Burel y Baudry 1995), mientras que los segundos, conocidos en el medio como “tacotales”, son generados como producto de las migraciones internas y externas de la población (INEC s.f.) e incrementan las conexiones entre los núcleos de bosques maduros (Burel y Baudry 1995).

La pérdida neta en términos de superficie del cultivo del “café” estaría indicada por la alta probabilidad de cambio de “café” hacia “pastos” (0,20 a 0,33) en comparación con las reversiones (0,01 a 0,04). Este cambio es significativo en cuanto a su afectación a la conectividad puesto que existen diferencias estructurales importantes en cuanto la composición de un pastizal y un cafetal en la zona, Ramírez y Calvo (2003) distinguieron hasta 14 sistemas agroforestales al evaluar tan solo 27 fincas cafetaleras en el área de amortiguamiento de la Reserva de Biosfera La Amistad.

Entre las probabilidades de transiciones más negativas para la conectividad estarían las que pasan de “charrales”, “pastos” o “café” a “cultivos anuales” y/o “piña” (0 a 0,02). A pesar del bajo valor de probabilidad de estos cambios hay que tomar en cuenta que estos se concentran en un solo lugar y que si bien los impactos de esta actividad podrían no alcanzar el nivel regional, a nivel local son importantes. Estos cambios hacia categorías de uso más intensivas, estarían ligados a los mismos factores que provocan el abandono de tierras en la categoría “pastos” (Burel y Baudry 1995), pues la baja rentabilidad de la actividad conduce al abandono y posterior venta que, de acuerdo a la

²⁴ Abandono en el sentido de no cultivarlo, pero los propietarios mantienen su posesión con fines de transferir la propiedad ya sea para turismo u otros.

ubicación de la finca, puede conducir a una sucesión secundaria o hacia una actividad más intensiva. Los cambios a categorías más intensivas deberían estar normados por las regulaciones en cuanto a ordenamiento territorial y planes de manejo ambiental.

Pese a que no fueron reportados en las matrices Markovianas, el cambio de “café” a “piña se ha dado en la zona Norte alrededor de Pérez Zeledón, en parcelas de pequeños agricultores que no fueron perceptibles a nivel de este modelo, y sin embargo podrían ser negativas a las redes que sustentan su conectividad en esas pequeñas áreas de café. Hay que tomar en cuenta que en esta zona una parte de las parcelas de “café” son más pequeñas que la unidad mínima mapeable en esta fase de la investigación (20 ha).

De acuerdo a los actores locales entrevistados el desarrollo de infraestructura se estaría dando principalmente en la zona de Buenos Aires, donde debido a la concentración de mano de obra necesaria para el cultivo de la piña, la población se encuentra en expansión. Además, al analizar la capa digital de las carreteras se observó un incremento importante de redes viales en el sector de la cuenca del Río Cotón.

Otro cambio considerado positivo es el de “cultivos anuales” hacia “charrales”, aunque este cambio parece acumularse en los dos períodos intermedios (0,04 en el período 1987-2003), es muy posible que a la larga este cambio resulte temporal, pues las áreas que fueron dedicadas a “cultivos anuales”, podrían volver a ser ocupadas cuando las fluctuaciones de precios vuelvan atractivo un nuevo producto agropecuario. Esto se ha observado en la zona noroeste del área de estudio donde extensas áreas de banano fueron abandonadas convirtiéndose en “charrales”, y ahora están volviendo a ser sembradas de plátano ó palma de aceite.

4.3 Etapa 3: Diseño de la red funcional para la conectividad más estable en el tiempo

4.3.1 Identificación de la red de conectividad con un área de influencia más estable

El área de influencia delimitada con criterio de cuenca, para el ramal de conectividad denominado Alternativa 1 (acápito 4.1.4) fue de 67.280 ha. En este ámbito, la piña no figuró entre los usos de la tierra. Asimismo, como se mencionó en la metodología (acápito 3.2.3.1), no tiene el uso “cultivos anuales” puesto que se agregaron a los “pastos”. Se puede apreciar además en el Cuadro 25, que la

proporción de bosques con respecto al área total es 42 % (14% mayor que en el área de estudio total en el año 2003). Además, a diferencia de la tendencia en el área de estudio total, el café dentro del área de influencia de la Alternativa 1 ha mostrado un crecimiento respecto al año base, alcanzando un 11% en el año 2003, convirtiéndose en un uso de importancia significativa en el análisis a nivel de paisaje, lo que no ocurrió al analizar los usos en el contexto de redes lineales (acápite 4.1.4) hecho en la primera fase de la investigación donde el café apenas alcanza el 0,3%.

Cuadro 25. Usos de la tierra en el ámbito del área de influencia de la Alternativa 1, en los años 1987, 1997 y 2003.

Usos del suelo	Período					
	1987		1997		2003	
	ha	%	ha	%	ha	%
Bosque	29.815	44,3	30.278	45,0	28.203	41,9
Pastos y cultivos	18.907	28,1	24.203	36,0	17.976	26,7
Charrales, tacotales y plantaciones	11.237	16,7	7.291	10,8	11.437	17,0
Café	6.421	9,5	4.262	6,3	7.301	10,9
Palmas	75	0,1	282	0,4	794	1,2
Agua	140	0,2	173	0,3	189	0,3
Infraestructura	88	0,1	50	0,1	72	0,1
Nubes y sombras	597	0,9	741	1,1	1.308	1,9
Total	67.280	100,0	67.280	100,0	67.280	100,0

En el Cuadro 26 se presenta los usos de la tierra encontrados para las diez unidades de análisis (sólo se precisa el dato para “bosques” y “pastos y cultivos” por que son los usos mejor distribuidos que se presentan en las diez unidades de análisis, para los demás usos referirse al Anexo 23). Al realizar el análisis de los lugares y usos de la tierra, mediante la prueba de Chi-cuadrado, se encontró que existe asociación entre los usos y el lugar ($p < 0,0001$), esto permitió percibir que los procesos de cambio que se dan en cada unidad habrían sido diferentes entre sí.

En el año 2003 hubieron unidades con un porcentaje de bosques de casi el 60% (Coto Colorado), mientras que otras no alcanzan el 11% (Coto Brus 2). El siguiente uso mejor distribuido en el paisaje constituido por los “pastos y cultivos” va de un 9,11 % en Coto Colorado a un 71,41 % en Coto Brus (año 2003). La palma de aceite, que a nivel de toda el área de influencia tiene la misma tendencia creciente que en el área total, sólo se encuentra en las unidades Coto Colorado y Esquinas, que al mismo tiempo son las dos únicas unidades donde no se encuentra el uso “café”.

Cuadro 26. Usos de la tierra por unidad de análisis en el área de influencia de la Alternativa de red de conectividad 1 entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de la Península de Osa, en los años 1987, 1997 y 2003.

Tramo	Unidad de análisis	Tipo de uso	Escenarios						
			1987		1997		2003		
			ha	%	ha	%	ha	%	
1	Sábalo	Bosque	722	19,9	743	20,4	679	18,7	
		Pastos y cultivos	1.430	39,4	1.836	50,5	1.547	42,6	
		Otros	1.483	40,8	1.056	29,0	1.409	38,8	
	Canasta	Bosque	1.744	41,5	1.497	35,6	1.416	33,7	
		Pastos y cultivos	1.151	27,4	1.689	40,2	1.688	40,1	
		Otros	1.310	31,2	1.018	24,2	1.101	26,2	
	Cotón	Bosque	5.560	59,1	5.302	56,4	4.813	51,2	
		Pastos y cultivos	973	10,4	2.087	22,2	2.994	31,8	
		Otros	2.869	30,5	2.013	21,4	1.595	17,0	
2	La Palma	Bosque	1.210	33,3	1.090	30,0	1.187	32,6	
		Pastos y cultivos	437	12,0	779	21,4	775	21,3	
		Otros	1.990	20,3	1.768	48,6	1.675	46,0	
	Coto Brus 2	Bosque	170	7,9	339	15,8	224	10,4	
		Pastos y cultivos	1.460	68,0	1.579	73,5	1.142	53,2	
		Otros	518	24,1	231	10,7	782	36,4	
	Coto Brus	Bosque	331	14,4	363	15,8	350	15,3	
		Pastos y cultivos	1.768	77,1	1.727	75,3	1.638	71,4	
		Otros	195	8,5	203	8,8	305	13,3	
3	Brusmalis	Bosque	6.394	51,4	6.466	52,0	6.162	49,6	
		Pastos y cultivos	1.553	12,5	3.969	31,9	2.752	22,1	
		Otros	4.484	36,1	1.996	16,1	3.517	28,3	
	Changuena	Bosque	5.251	44,9	4.959	42,4	4.277	36,6	
		Pastos y cultivos	2.839	24,3	5.106	43,7	3.310	28,3	
		Otros	3.595	30,8	1.620	13,9	4.098	35,1	
	4	Coto Colorado	Bosque	4.508	45,8	5.717	58,0	5.884	59,7
			Pastos y cultivos	3.708	37,6	2.499	25,4	897	9,1
			Otros	1.636	16,6	1.637	16,6	3.071	31,2
Esquinas		Bosque	3.925	49,1	3.802	47,6	3.211	40,2	
		Pastos y cultivos	3.588	44,9	2.931	36,7	1.233	15,4	
		Otros	479	6,0	1.258	15,7	3.548	44,4	

Entre los cuatro tramos que conforman el área de influencia de la Alternativa 1, el porcentaje de bosques es menor en el segundo tramo, conformado por las unidades Coto Brus 2, Coto Brus y La Palma, probablemente influenciado por la cercanía a la carretera principal y la presencia de las carreteras cantorales en estas unidades, constituyéndose indiscutiblemente en el tramo crítico en términos de conectividad (Figura 18).

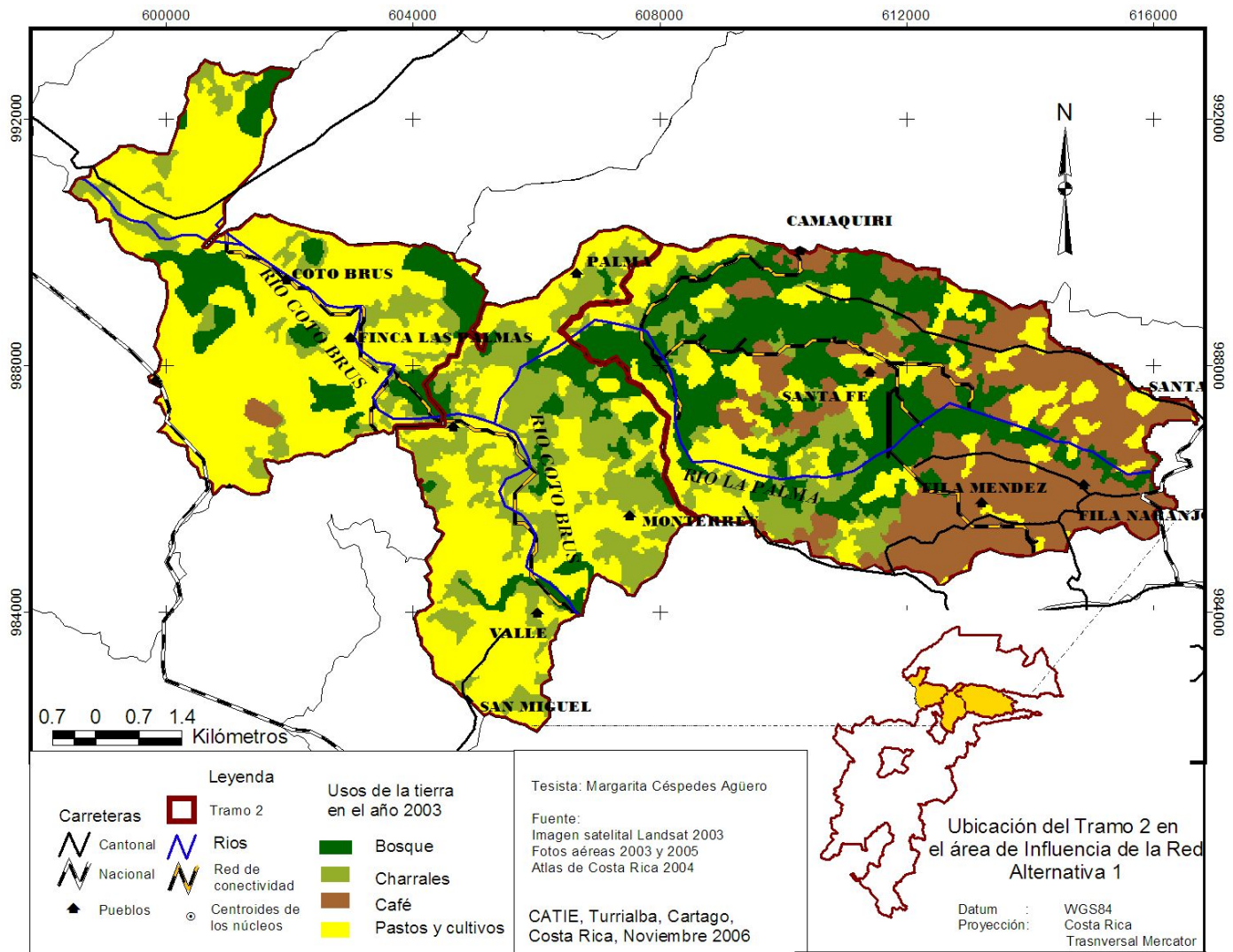


Figura 18. Usos de la tierra en el año 2003 en el Tramo 2 del área de influencia de la alternativa de red de conectividad 1.

Partiendo de este análisis se corroboró el supuesto de que las probabilidades de transición entre usos de la tierra en cada unidad de análisis eran independientes, debido a la dinámica particular que se da en el interior de cada una de ellas. El indicador seleccionado para estimar la estabilidad, a partir de

los criterios indicados en la metodología (acápite 3.2.3.2), fue la probabilidad de transición entre “bosque” y “pasto y cultivos anuales”.

La combinación de las unidades de análisis que conformaron el área de influencia de la Alternativa 1 originó 18 posibles rutas entre las áreas protegidas de ACLA-P y ACOSA, cuyas probabilidades de estabilidad por período intermedio se muestran en el Cuadro 27. Se observó que para algunas de las rutas al cambiar de período cambian su importancia en cuanto a estabilidad, por ejemplo una ruta que ocupó el décimo lugar en el primer período pasó en el siguiente período intermedio al tercer lugar. Esta situación permitió percibir que el cambio de factores condicionantes a nivel social, económico y político influyó notablemente la estabilidad de algunas unidades de análisis. Por esta razón se seleccionaron como rutas de conectividad sólo las dos primeras rutas que se mantuvieron a pesar de los factores cambiantes con una probabilidad de estabilidad mínima de 0,68.

Cuadro 27. Probabilidad de estabilidad por períodos de las alternativas de ruta de conectividad principal entre ACLA-P y ACOSA.

Ruta	Unidades de análisis que forman las alternativas de rutas de conectividad ordenadas por tramos				Probabilidades de estabilidad por período	
	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	87-97	97-03
1	Coton	La Palma	Brusmalis	Cotocolorado	0,72	0,77
2	Coton	La Palma	Brusmalis	Esquinas	0,68	0,75
3	Sabalo	Cotobrus	Changuena	Esquinas	0,49	0,71
4	Canasta_Cotón	La Palma	Brusmalis	Cotocolorado	0,55	0,70
5	Canasta	Cotobrus	Changuena	Esquinas	0,49	0,69
6	Canasta_Cotón	La Palma	Brusmalis	Cotocolorado	0,58	0,68
7	Coton	Cotobrus2	Brusmalis	Cotocolorado	0,65	0,68
8	Coton	Cotobrus	Changuena	Esquinas	0,56	0,67
9	Coton	Cotobrus2	Brusmalis	Esquinas	0,61	0,66
10	Sabalo_Canasta	Cotobrus	Changuena	Esquinas	0,40	0,65
11	Coton	Cotobrus2	Changuena	Esquinas	0,57	0,65
12	Coton	Cotobrus2	Changuena	Esquinas	0,57	0,65
13	Sabalo	Cotobrus_Cotobrus 2	Brusmalis	Cotocolorado	0,46	0,60
14	Sabalo	Cotobrus_Cotobrus 2	Brusmalis	Esquinas	0,43	0,59
15	Canasta	Cotobrus_Cotobrus 2	Brusmalis	Cotocolorado	0,46	0,59
16	Canasta	Cotobrus_Cotobrus 2	Brusmalis	Esquinas	0,43	0,57
17	Sabalo_Canasta	Cotobrus_Cotobrus 2	Brusmalis	Cotocolorado	0,40	0,56
18	Sabalo_Canasta	Cotobrus_Cotobrus 2	Brusmalis	Esquinas	0,40	0,56

Con base en el análisis descrito, la ruta de conectividad más estable, entre la Reserva de Biosfera La Amistad, partiendo de la Zona Protectora Las Tablas hacia las áreas protegidas de la Península de Osa (Parque Nacional Piedras Blancas y Refugio Nacional de Vida Silvestre Golfito), quedo conformada por la unión de las unidades de análisis que formaban las dos primeras rutas (Cotón, La Palma, Brusmalis, Cotocolorado y Esquinas). La superficie total de esta ruta fue 43.313 ha, que es la suma de las unidades mencionadas (Figura 19).

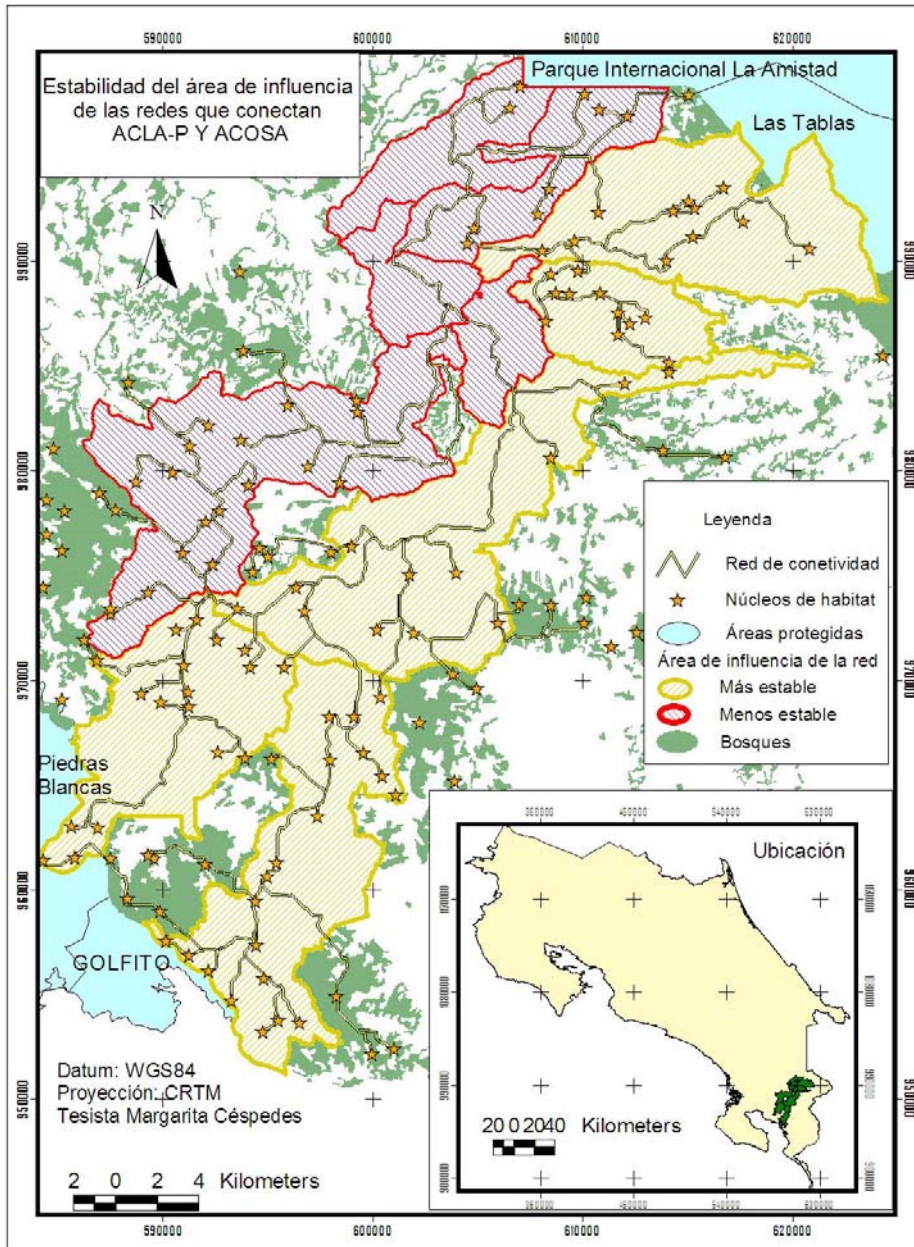


Figura 19. Ruta de conectividad más estable entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA.

La estructura del paisaje en cuanto a la proporción de usos de la tierra en esta ruta no supone un corredor de hábitat lineal sino más bien la presencia de parches de bosques distribuidos en una matriz de afectación intermedia, compuesta por las categorías de uso “café”, “charrales”, “pastos y cultivos anuales” y “palma de aceite”. En la ruta seleccionada la unidad de análisis ubicada en el tramo crítico por su bajo porcentaje de cobertura de bosques es La Palma, que junto a Cotón tienen las probabilidades más altas de cambio de “bosques” a “pastos”.

4.3.2 Conformación y caracterización de la red ecológica de conservación más estable para la conectividad

La red ecológica de conservación para la conectividad de la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA se conformó recogiendo los siguientes resultados de las etapas anteriores: 1) las áreas protegidas que sirven como puntos de inicio y final de la red (etapa I), los bosques mayores a 1.000 ha que permanecieron entre 1987 y el 2003 (etapa II); 2) la ruta de conectividad más estable ante el cambio de uso de la tierra de “bosque” a “pastos” (etapa III), y 3) las redes laterales a la ruta más estable (etapa I). El área total de la propuesta de red ecológica para la conectividad más estable es 65.465 ha (Figura 20).

En el ámbito de esta red, la conectividad dependerá de la estabilidad que tenga la estructura del paisaje en especial las coberturas naturales y el nivel de tolerancia de las especies para desplazarse sobre los usos diferentes al “bosque” (Bennett 1998). McIntyre y Barret (1992) señalan que en este tipo de mosaico el manejo del paisaje como un todo sería la estrategia más recomendable para lograr la conservación de las especies que han logrado un equilibrio en este sistema y que son vulnerables aún a los cambios de uso de suelo.

La propuesta de red conecta finalmente seis áreas protegidas, cuatro en el exterior del área de estudio que suman 229.350 ha (Parque Internacional La Amistad, Zona Protectora Las Tablas, Refugio de Vida Silvestre Golfito y Parque Nacional Piedras Blancas) y dos al interior (Refugio de Vida Silvestre Donald Peter Hayes y el Humedal Palustrino Laguna del Paraguas). Los tres núcleos de bosques mayores a 1.000 ha propuestos para integrar la red ecológica de conservación ocupan un área de 34.479 ha, el primero se encuentra en el límite sur de la Zona protectora Las Tablas sobre la Finca Cotón y otros parches de bosque adyacentes, el segundo sobre la Reserva indígena Guaymí de Coto Brus y la Fila Cruces y el tercero limita con el norte del Refugio de Vida Silvestre Golfito, a este último se le incorporó el área interior del parche de bosque presente en el 2003, debido a que se

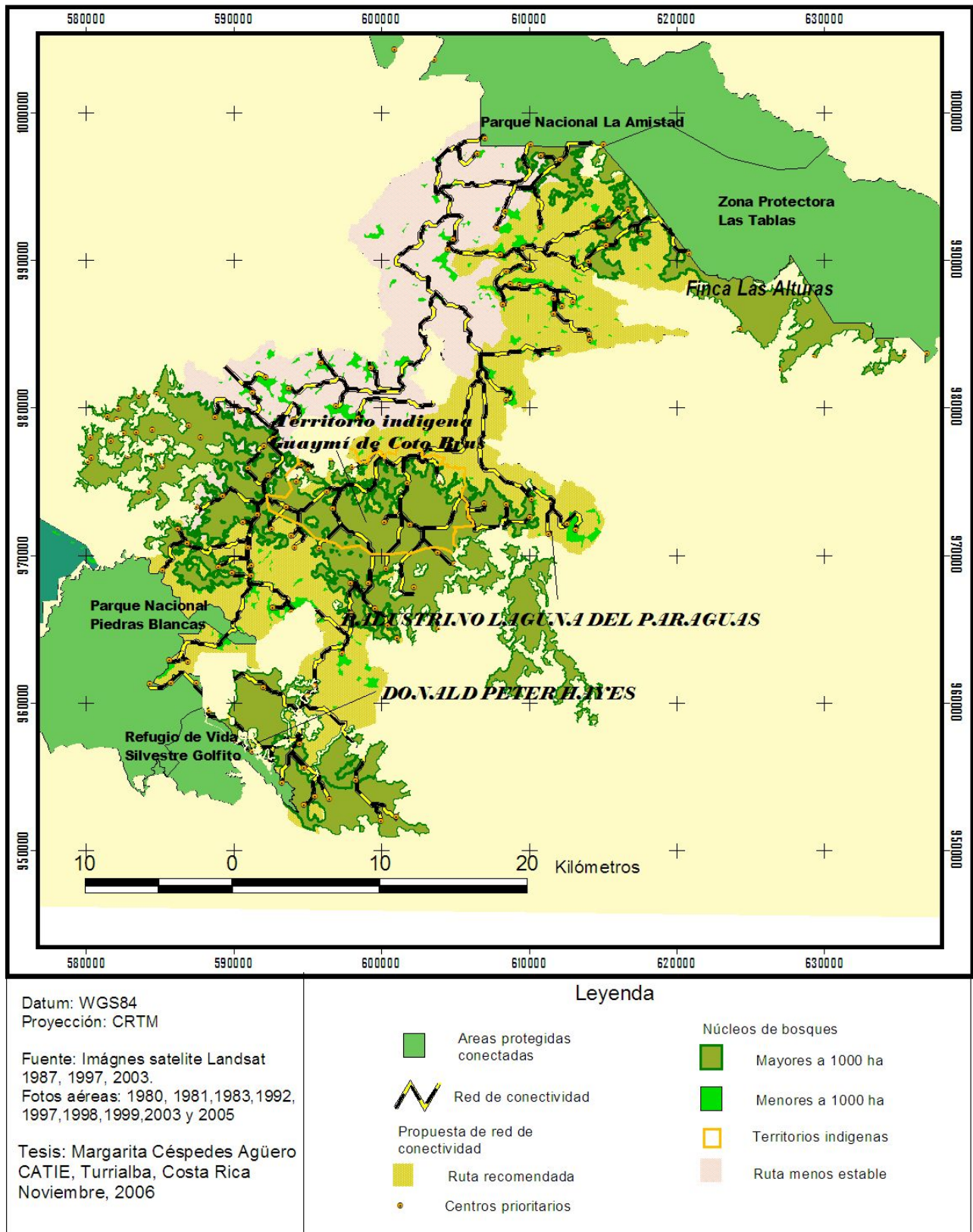


Figura 20. Red ecológica de conservación para la conectividad de la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas del Área de Conservación Osa.

recogió información de actores clave sobre una propuesta de protección estricta sobre esa zona. Estos parches de bosque, por no encontrarse protegidos estrictamente, se encuentran amenazados por actividades de cacería y extracción de madera. Sin embargo, en el período analizado se han mantenido como un hábitat intacto de acuerdo a la definición de McIntyre y Hobbs (1999), por mantener más del 90% de su cobertura natural, en especial el parche que se encuentra en la Finca Las Alturas del Bosque (Finca Cotón), que es resguardado en forma similar que un área protegida privada.

La ruta más estable, que involucra también los parches de bosques menores a 1.000 ha conjuntamente con los demás usos, ocupa una extensión de 30.986 ha. Las redes laterales incorporadas fueron las que conectan a la Estación Biológica Las Cruces, sobre el Río Limón, por su importancia estratégica; y la microcuenca de la Quebrada Florida que presenta un ramal alternativo para conectar con el Parque Nacional Piedras Blancas, siendo el área de esta última muy pequeña, por lo que no se le consideró como alternativa para analizar su estabilidad en el tiempo, sino sería más bien complementaria debido a que los expertos locales consideran que por esta vía existirían menos amenazas en cuanto a cacería.

De acuerdo al modelo diseñado la confiabilidad, de que se mantengan todos los enlaces que existen actualmente, es relativamente baja (probabilidad igual a 0,77), lo que genera incertidumbre en el futuro de las especies cuyas metapoblaciones se dispersan entre el PILA y las áreas protegidas de ACOSA. Esto se debe a que la inestabilidad en cada tramo tiene incidencia en la inestabilidad del sistema en su conjunto, por lo que una propuesta de manejo a nivel regional deberá tomar en cuenta que para lograr maximizar el éxito de la red de conectividad se debe minimizar la inestabilidad en cada unidad que la compone. Más aún, si se toma en consideración que aún en la ruta con mayor probabilidad de éxito, al menos un componente se encuentra severamente fragmentado, lo que implicará la necesidad también de implementar procesos de restauración.

En esta propuesta llevada a cabo a nivel de filtro grueso, no se contempló las necesidades de un grupo en particular de especies, por lo que es necesario considerar para una siguiente etapa de investigación la identificación de las especies que hacen uso de esta red. Burel y Baudry (1995) señalan que en esta configuración de paisaje se pueden distinguir tres grandes grupos de especies: a) especies que viven y se desplazan a escala regional y no tienen dificultades para desplazarse en la matriz; b) metapoblaciones que necesitarán del refuerzo o restauración de las conexiones de la red para su desplazamiento, y c) poblaciones aisladas, que se desarrollan en algunos hábitat raros dentro

de los núcleos de cobertura natural más grandes de la red. De estos grupos el segundo es el que resultaría más sensible ante el manejo del paisaje a escala regional.

Igualmente, es importante señalar que dentro de la red propuesta existen tramos que son atravesados por la Carretera Interamericana (entre Río Claro y Chacarita) y otras carreteras asfaltadas. El número de animales silvestres que mueren en carretera, en comparación con aquellos que logran pasar, es un tema que no fue materia de esta investigación pero sería importante investigar donde son los puntos críticos de pase de especies silvestres.

4.3.3 Factores asociados a la estabilidad ante el cambio de uso de la tierra en la red de conectividad diseñada.

En la Figura 21, se presentan las probabilidades de cambio de bosque a pastos para todas las unidades de análisis, se observa que existe un rango bastante amplio de variación entre las diferentes unidades que va de 0,02 a 0,20. En general para la mayor parte de las unidades se puede observar que la probabilidad de cambio entre “bosques” y “pastos” decreció en el segundo período intermedio (1997-2003), con excepción de las unidades Cotón y Changuena, las cuales pasan a estar entre las unidades más cambiantes en el segundo período intermedio.

Para analizar cuales fueron las características que hicieron que unas unidades de análisis fueran más estables que otras, se caracterizó cada unidad en cuanto a las variables: porcentaje de cobertura de bosque inicial, altitud sobre el nivel del mar, crecimiento y densidad poblacional, distancia a carreteras principales, densidad de carreteras y pendiente. Además se revisó cada unidad con los mapas de ubicación de los contratos de Pago por Servicios Ambientales (PSA) encontrando que solo en cuatro unidades se dió PSA en el período entre 1997 y el 2003 (FONAFIFO s.f.). Esta variable nominal no fue considerada luego en el análisis puesto que estaba totalmente ligada a la cobertura de bosque, donde es evidente que las unidades con mayores coberturas de bosque habían sido consideradas para el PSA (FONAFIFO s.f.).

Se descartó el uso de la información obtenida sobre permisos forestales porque no se obtuvo información del período de análisis completo, además que de acuerdo a la información proporcionada por los actores locales la influencia de este factor actualmente es mínima, por cuanto en el ámbito de estudio se esta otorgando sólo permisos forestales para extracción de árboles en potreros, los que no son factibles de ser determinados a través de la escala utilizada en este trabajo. Los rangos de distribución de las variables en cada unidad se describen en el Anexo 24.

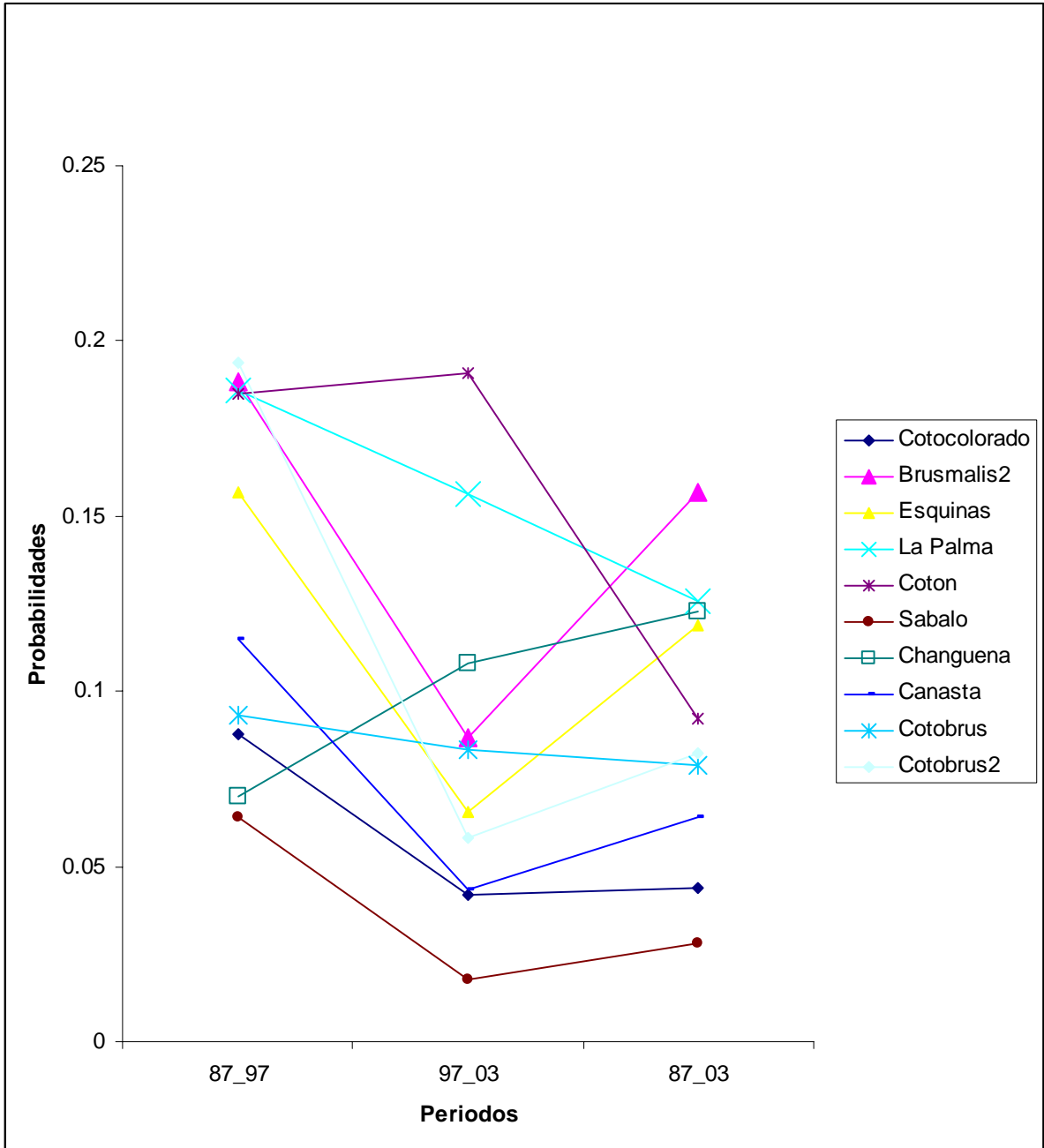


Figura 21. Probabilidad de cambio de bosque a pastos por períodos y unidades de análisis.

En el análisis de componentes principales, de las variables que caracterizan los factores socioeconómicos y biofísicos de las unidades de análisis, con los dos primeros componentes se explicó un 64% de la variabilidad total en las observaciones (Figura 22). En el primer componente principal (CP1) las variables que explican la mayor parte de la variabilidad entre los factores analizados son la densidad de carreteras, densidad de poblados, pendiente media y cobertura inicial

de bosque. Las variables densidad de carreteras y densidad de poblados están correlacionadas positivamente, al igual que las variables pendiente media y cobertura inicial del bosque. A la vez la densidad de carreteras esta correlacionada en forma negativa con la cobertura inicial del bosque. En lo que respecta al segundo componente principal (CP2) las variables que más variabilidad generan son el crecimiento poblacional y la altitud.

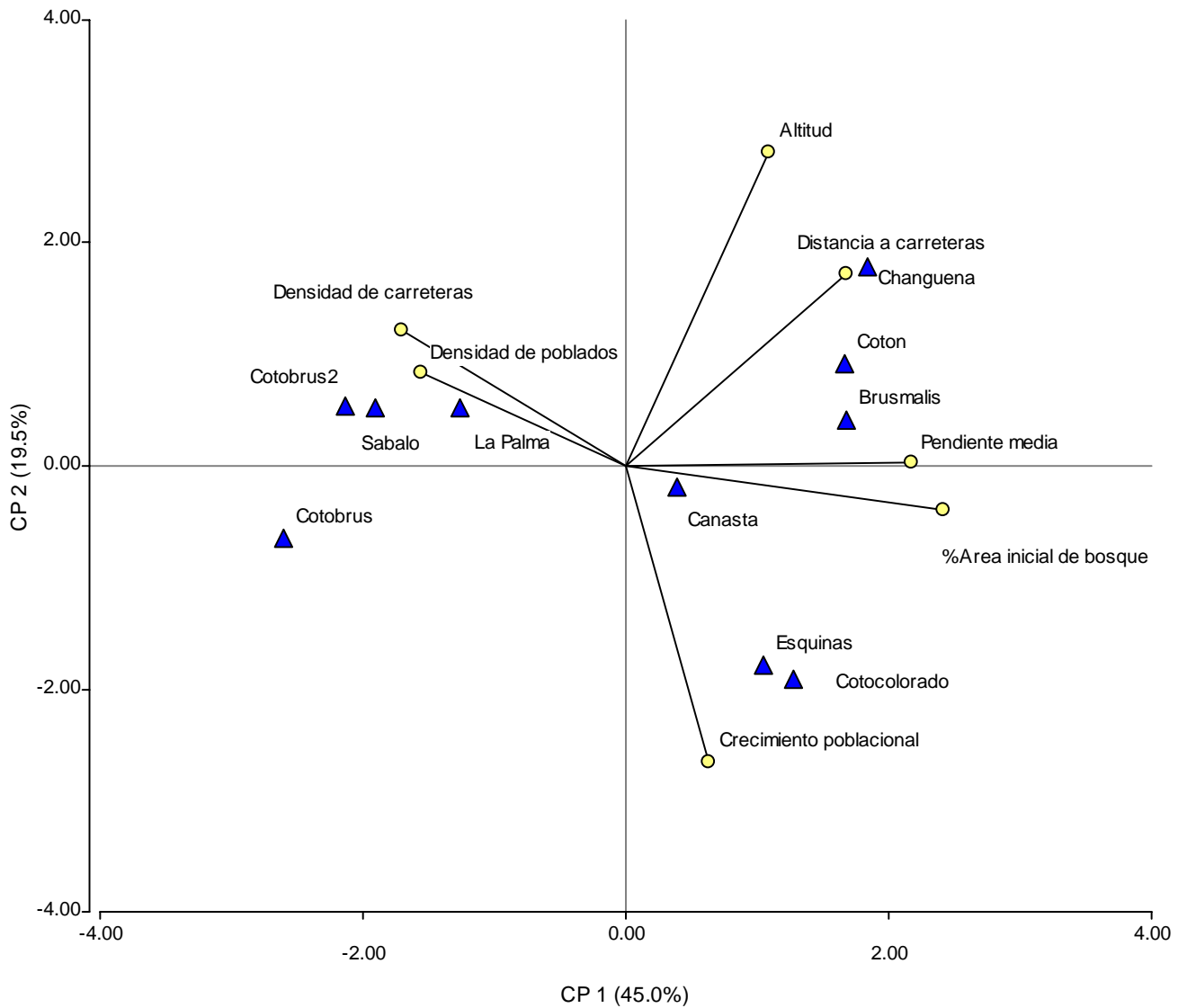


Figura 22. Biplot de los dos primeros componentes principales de las variables biofísicas y socioeconómicas en las unidades de análisis que componen la Alternativa de conectividad 1 entre las áreas protegidas de la Península de Osa y la Reserva de Biosfera La Amistad Pacífico. Los círculos indican las variables explicativas y los triángulos las unidades de análisis.

Al examinar las unidades de análisis encontramos que Coto Brus, Coto Brus 2, La Palma y Sabalo tuvieron altos valores en las variables densidad de carreteras y densidad de poblados, lo que coincide en el caso de los tres primeros con encontrarse en el tramo considerado como crítico por su bajo porcentaje de cobertura natural y sus altas tasas de probabilidad de cambio. No obstante, las unidades Changuena, Cotón y Brusmalis fueron coincidentes en sus altos valores de distancia a las carreteras principales y altos valores de pendiente media, no coincidieron en cuanto a las tendencias mostradas por sus probabilidades de cambio (Figura 21), ni por sus porcentajes de cobertura inicial (Cuadro 25). Las unidades Esquinas y Coto Colorado tuvieron bajas tasa de crecimiento poblacional, lo que es concordante con que ambas presentaron las probabilidades de cambio de “bosques” a “pastos” más bajas. Finalmente, La unidad de análisis Canasta se caracterizó por no presentar valores altos en ninguna de las variables y del mismo modo sus valores de probabilidad de cambio se mantuvieron en un rango intermedio en comparación con las otras unidades de análisis.

Del análisis anterior, encontramos en algunas unidades de análisis, que las tendencias en las variables incluidas coinciden con las esperadas con base en otros estudios sobre factores que influyen el cambio de uso (Angelsen y Kaimowitz 1999), sin embargo, existen otras unidades que no muestran ninguna tendencia, de donde se deduce que existen otros factores que las influyen no considerados en este análisis.

Un aspecto importante a tomar en cuenta en futuras investigaciones en la zona es el efecto que tienen las preferencias personales y la influencia cultural en la toma de decisiones en cuanto al uso del suelo. Al respecto, Duffy et ál. (2001) señala que las preferencias personales no responden a una lógica en particular, por lo que constituyen una fuente de incertidumbre en cualquier modelo de simulación del cambio de uso de la tierra. La importancia de considerar este aspecto en futuras investigaciones se basa en la heterogeneidad de los propietarios de los tres núcleos principales de cobertura natural. Por un lado existe un propietario privado extranjero en La Finca Las Alturas de Cotón, luego los propietarios comunales sobre la Reserva indígena Guaymí de Coto Brus y finalmente varios pequeños propietarios individuales parcelados por el IDA cuyas decisiones en cuanto al uso de la tierra incidirán directamente en la propuesta de red de conectividad.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La red ecológica de conservación entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA diseñada en este estudio es una aproximación de filtro grueso a escala de paisaje, que se presenta como un aporte para la conservación a nivel regional enmarcado en los criterios del manejo adaptativo y de costo-efectividad.
- La red de conectividad estructural diseñada inicialmente constituye un eje que podría enlazar las iniciativas locales de corredores biológicos existentes sobre los que pasa en siete de sus ocho ramales, articulándolas en una sola red. En ese sentido, es necesario promover la creación de corredores locales sobre las áreas identificadas como prioritarias que todavía no cuentan con iniciativas. Esto permitiría consolidar un corredor altitudinal desde la Cordillera de Talamanca hasta las áreas protegidas de ACOSA.
- En la red diseñada al complementar el modelo del menor costo-distancia con el análisis multitemporal de usos de la tierra, además de identificar los núcleos de hábitat prioritario para la conservación, se identificaron las zonas críticas con necesidad de acciones de restauración en las áreas donde el paisaje enfrenta procesos de fragmentación.
- Los núcleos de hábitat priorizados para la conservación en el ámbito de la red ecológica de conservación propuesta incorporan el macrotipo de vegetación Bosque Tropical Lluvioso de Bajura el cual no se encuentra representado en los sistemas de áreas protegidas existentes en Costa Rica. Este macrotipo enfrenta un proceso de fragmentación por lo que se recomienda sea considerado entre los objetos de conservación priorizados en las estrategias para la conservación de la propuesta de red.
- Se reafirmó la importancia para la conservación de la Zona Protectora Las Tablas por constituirse en un punto de partida en el lado del ACLA-P, y el bosque adyacente al Refugio de Vida Silvestre Golfito como punto de llegada en el lado del ACOSA. Asimismo, en el área intermedia entre ACLA-P y ACOSA se identificó al bosque perteneciente a la Reserva Indígena Guaymí de Coto Brus como una zona clave para el paso de la red.
- En la metodología de diseño de las redes iniciales el establecimiento de valores altos de fricción minimiza pero no excluye el paso de la red por coberturas no convenientes, por esta razón es fundamental validar las redes iniciales con el criterio de expertos locales.

- Los bosques ribereños constituyen la columna vertebral para la conectividad en el presente modelo de red ecológica a escala de paisaje, puesto que los bosques al borde de los ríos son los últimos remanentes boscosos en algunos sectores considerados críticos por su baja cobertura forestal.
- La metodología usada para la selección de los rangos de valores de fricción usados en el modelo permitió distinguir que la composición de usos de la tierra en las zonas de amortiguamiento de las redes de conectividad depende de los rangos de valores de fricción asignados si nos ubicamos en un paisaje dado. Estos rangos no son aplicables a otro paisaje pues si cambiamos a otro sitio la nueva estructura del paisaje y distribución de los núcleos de hábitat en él harán necesario una nueva evaluación de los rangos establecidos.
- La delimitación de las áreas de influencia de las redes de conectividad estructural con base en el criterio de cuenca complementa el criterio que prioriza buscar la conectividad estructural con la necesidad de determinar áreas para el manejo a nivel de paisaje.
- Los usos de la tierra en el área intermedia entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA, han presentado variaciones significativas a nivel espacial y temporal. El paisaje de ser dominado por la categoría “pastos” en el año 1987 ha pasado a tener una estructura más heterogénea en el año 2003, donde las sucesiones secundarias y los cultivos intensivos de exportación, básicamente piña y palma, se encuentran en crecimiento.
- La cobertura de bosque en términos netos está creciendo en el período analizado, sin embargo, se encontró que el paisaje enfrenta procesos de fragmentación evidenciados en el análisis de las métricas de tamaño, agregación y dispersión.
- Los procesos de cambio de uso de la tierra no son homogéneos en toda el área, sino que se experimentan de forma diferente de acuerdo a la interacción de factores biofísicos y sociales que se dan en cada unidad de análisis. Este hecho y el análisis de los cambios de uso de la tierra por períodos intermedios permitió seleccionar las zonas que son menos sensibles a los condicionantes de los cambios de uso de la tierra considerados negativos en este estudio.
- Se recomienda a nivel regional el manejo del paisaje como un todo como estrategia para lograr la conservación de las especies que han logrado sobrevivir en el grado de fragmentación actual de paisaje y que son vulnerables aún a los cambios.

- La estabilidad de cada unidad de análisis que compone la ruta de conectividad influye en la estabilidad de la ruta en su conjunto. En ese sentido se recomienda implementar estrategias de manejo que contemplen las necesidades de conservación de cada una de las unidades de análisis con base en su composición de usos de la tierra y sus probabilidades de cambio. En las zonas identificadas como prioritarias para las redes de conectividad se recomienda realizar acciones de protección y control, e incentivos a los propietarios. En las zonas críticas será necesario promover acciones de restauración del paisaje.
- La presente propuesta de red de conectividad ecológica al haberse trabajado solo desde el punto de vista biofísico, por lo que se recomienda sea complementada con los aspectos sociales y de gestión que no se enfocaron en la presente investigación con el fin de establecer la viabilidad real de establecer este paso de conectividad.
- Para medir la efectividad de manejo en la gestión de un futuro corredor biológico entre ACLA-P y ACOSA, la variación en el tiempo de las métricas de número, tamaño y agregación de parches en el paisaje, por uso de la tierra, podrían convertirse en indicadores mensurables confiables de la situación de la conectividad estructural.
- Se recomienda realizar estudios a nivel de especies para determinar cuales grupos están haciendo uso de los elementos que sustentan la conectividad actual. Para este fin se podría realizar un perfil altitudinal de la red diseñada para establecer los rangos de hábitat que recorre la red.
- Para organizar y consolidar los procesos de fortalecimiento de esta propuesta de redes de conectividad se deben involucrar a actores sociales de instituciones privadas y públicas a nivel local, regional y nacional, de modo que se logre identificar coincidencias en cuanto a sus intereses a favor de la conservación.
- Se recomienda que en estudios futuros, que se centren en el área priorizada se mejoren los datos en torno a la deforestación real en esta área, lo que mejoraría la aproximación en cuanto a la estabilidad de la conectividad en la zona. Asimismo, para analizar aquellos cambios que se producen en áreas menores a 20 ha y entre coberturas que presentan confusiones espectrales se recomienda realizar estudios más detallados en aquellas áreas priorizadas.

- Si bien la cobertura de los cultivos palma y piña en términos de área resulta mínima en relación al área total de estudio, se recomienda investigar su impacto en la funcionalidad de las redes de conectividad propuestas. En particular es necesario monitorear la expansión de estos cultivos en términos de área y distribución del mismo, puesto que en el segundo período de análisis ambos cultivos se están expandiendo hacia áreas cada vez más lejanas (período 1997-2003).

6 BIBLIOGRAFÍA

- Acuña González, G. 2005. Diagnóstico, situación y condiciones de la agroindustria piñera en Costa Rica: Los casos de la producción piñera en las regiones Atlántica y Pacífico Sur. *Informe Final*. Asociación de Servicios de Promoción Laboral (ASEPROLA, CR). Consultado 5 oct. 2006. Disponible en <http://www.aseprola.org/espanol/Documentos/pina/informe%20final%20pi%F1a%20version%20FE%202005.doc>.
- Almeida, R. 2002. Propuesta para áreas de conectividad – Área de Conservación Osa: Adaptando los conceptos de la conservación y manejo del paisaje en el Pacífico Sur de Costa Rica. Fundación Cecropia-MINAE. 76 p.
- Andrade, A. 2004. Enfoque ecosistémico y corredores biológicos. In Cracco, M; Guerrero, E. eds. Aplicación del Enfoque Ecosistémico a la Gestión de Corredores en América del Sur. Memorias del Taller Regional, 3 al 5 de junio. UICN. Quito, EC. p: 15-21.
- Andrade, A; Arjona, F; Paredes, D; Suárez, L; Vásconez, S. 2004. Corredor de Conservación Chocó - Manabí (Colombia y Ecuador). In Cracco, M; Guerrero, E. eds. Aplicación del Enfoque Ecosistémico a la Gestión de Corredores en América del Sur. Memorias del Taller Regional, 3 al 5 de junio. UICN. Quito, EC. p: 53-63.
- Angelsen, A; Kaimowitz, D. 1999. Rethinking the Causes of Deforestation: Lessons from Economic Models. *The World Bank Research Observer* 14 (1): 73–98.
- APN (Administración de Parques Nacionales, AR); SIB (Sistema de información de Biodiversidad, AR). 2005. Protocolo para el procesamiento de imágenes satelitales Landsat para aplicaciones de la Administración de Parques Nacionales. Buenos Aires, AR. 21 p. Consultado 6 abr. 2006. Disponible en: http://www.sib.gov.ar/introduccion/documentos/preprocingsat/Protocolo_img_Landsat.pdf.
- Arias, E. sf. Mapa de Corredores biológicos en las áreas de Conservación La Amistad Pacífico y Osa. Proyecto Gruas II. INBIO, San José, CR. *En prensa*.
- Arango, VN; Matallana, CL; Puyana, J.2003. Planeación regional para la conservación de la biodiversidad. In Arango, N. ed. Memorias V Congreso Interno Instituto Alexander Von Humboldt. Instituto Alexander von Humboldt, Bogotá, CO. 229 p.
- Arroyo-Mora, JP; Sanchez-Azofeifa, GA; Rivard, B; Calvo, JC; Janzen, DH. 2005. Dynamics in landscape structure and composition for the Chorotega región, Costa Rica from 1960 to 2000. *Agriculture, Ecosystems and Environment* no. 106: 27-39p.
- Baritto Lozano, FS. 2000. Dinámica de factores asociados al uso de la tierra e implicaciones sobre el colapso ambiental de 1999 en la Costa Norte de Venezuela. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 104p.
- 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: 303-314.
- Beier, P; Noss, RF. 1998. Do habitat corridors provide connectivity? *Conservation Biology* 12:1241-1252.
- Bennett, A. 1998. Enlazando el paisaje: el papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre. UICN, Gland, CH/ Cambridge, RU. 276 p.

- Bermudez Rojas, T; Páez, G; Velásquez, S; Molte, E. 2002. Cambio del uso y cobertura de la tierra y la conservación del bosque en dos áreas protegidas, Costa Rica. *Revista Forestal Centroamericana*. no. 38: 21-26.
- 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 (3):193-200.
- Burel, F; Baudry, J. 2002. *Ecología del Paisaje. Conceptos, Métodos y Aplicaciones*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- Calderón, R; Boucher, T; Bryer, M; Sotomayor, L; Kappelle, M. 2004. Setting biodiversity conservation priorities in Central America: Action site selection for the development of a first portfolio. The Nature Conservancy, San José, CR. 32 p.
- Calvo, JC; Watson, V; Bolaños, R; Quesada, C; Sánchez, A; Gómez, P; y Ramírez, M. 1999. Estudio de cobertura forestal de Costa Rica. Empleando imágenes LANDSAT 1986/1987 y 1996/1997. FONAFIFO/CCT/CIEDES/CI/MINAE/SINAC. San José, CR. *In* Memorias del XI Congreso Nacional Agronómico 1999. p. 461–466. Consultado 25 de Oct. 2005. Disponible en: http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_XI/a50-6907-III_461.pdf.
- Campos, DP. de; Finegan, B. 2002. Principios, criterios e indicadores para la evaluación de corredores biológicos y su aplicación: Caso Costa Rica. *Revista Forestal Centroamericana*. no.38 (9-13)
- Carazo, F., Herrera, B., Candanedo, I. s.f. Plan de conservación: Sitio Binacional La Amistad Costa Rica – Panamá. Guía de acciones 2002-2004. The Nature Conservancy, San José, CR. 43p. *En prensa*.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). 2003. Mapas de cobertura de café de Pérez Zeledón y Cotobrus (Versión digital). Instituto Costarricense del Café (ICAFFE). Proyecto Geocafé.
- CBD (Secretarial of the Convention on Biological Diversity, CA). 2003. Interlinkages between biological diversity and climate change. Advice on the integration of biodiversity considerations into the implementation of the United Nations Framework Convention on Climate Change and its Kyoto protocol. Montreal, SCBD, 154 p. (CBD Technical Series no. 10).
- CCT (Centro Científico Tropical, CR); FONAFIFO (Fondo Nacional de Financiamiento Forestal, CR); Universidad de Alberta, CA. 2002. Estudio de la Cobertura Forestal de Costa Rica para el año 2000. 12p. Consultado 28 oct. 2006. Disponible en: http://documentacion.sirefor.go.cr/archivo/cobertura/INFORME_COBERTURA_97_00.pdf.
- Coburn, C. A; Roberts, A. C. B. 2004. A multiscale texture analysis procedure for improved forest stand classification. *International Journal of Remote Sensing* 25 (20): 4287 – 4308.
- Congalton, RG; Green, K. 1999. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. Lewis Publishers, Washington, DC, US. 137 p.
- Corry, RC. 2004. Characterizing fine-scale patterns of alternative agricultural landscapes with landscape pattern indices. *Landscape Ecology* 20: 591–608.
- Chardon, JP; Adriaensen, F; Matthysen, E. 2003. Incorporating landscape elements into a connectivity measure: a case study for the Speckled wood butterfly (*Pararge aegeria* L.) *Landscape Ecology* 18: 561–573.

- Chavarría, MA. (comp.) 2005. Fichas técnicas: resúmenes de corredores biológicos propuestos para Costa Rica. In Chavarría, MA. Rojas, LA.(comp) Corredores biológicos de Costa Rica. SINAC/MINAE/Corredor biológico Mesoamericano, San José, CR. p. 44-198.
- Chuvieco, E. 1990. Fundamentos de teledetección especial. Ediciones Rialp, Madrid, España. 449p.
- Dale, VH; Pearson, SM; Offerman, HL; O'Neill, RV. 1994. Relating patterns of land use change to faunal biodiversity in the central Amazon. *Conservation Biology* 8: 1027-1036.
- Dinerstein, E; Olson, DM; Graham, DJ; Webster, AL; Primm, SA; Bookbinder, MP; y Ledec, G. 1995. Una evaluación del estado de conservación de las ecoregiones terrestres de América Latina y El Caribe. WWF/World Bank, Washington DC, US. 145 p.
- Duffy, SB; Corson, MS; Grant, WE. 2001. Simulating land – use decisions in the La Amistad Biosphere Reserve zone in Costa Rica and Panamá. *Ecological Modeling* 140: 9-29.
- Eastman, JR. 2003. IDRISI Kilimanjaro Guide to GIS and Image Processing. Clark University, US. 324 p.
- ESRI (1996). Manual de Arcview. S.p.(incluido en el software).
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, IT); CATIE (Centro Agronómico y Tropical para la Investigación y Enseñanza, CR); MINAE (Ministerio del Ambiente y Energía, CR). 2001: Inventario Forestal Piloto en Costa Rica para el Levantamiento Forestal Global (Global Forest Survey GFS). Una iniciativa de FAO FRA. Costa Rica. 51 p. Consultado 29 oct. 2005. Disponible en: <http://documentacion.sirefor.go.cr/archivo/cobertura/inventarioforestal2000.pdf>.
- _____. 2005. Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2005: 15 Resultados claves. Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales (FRA) 2005, Roma, IT. 8p. Consultado 26 dic. 2005. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/prior/recnat/pdf/fra2005.pdf>
- Finegan, B. y Céspedes Agüero, MV. s.f. El monitoreo ecológico como componente integral del manejo de Áreas Protegidas y Corredores Biológicos en los Trópicos: conceptos y práctica. *En prensa*.
- FONAFIFO (Fondo Nacional de Financiamiento Forestal, CR). s.f. Mapa de ubicación de los contratos de pago por servicios ambientales 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004 y 2005 en ACOSA y ACLA-P. (versión digital).
- Forero, LA. Finegan, B. 2002. Efectos de borde en la vegetación de remanentes de bosque muy húmedo tropical en el norte de Costa Rica, y sus implicaciones para el manejo y la conservación. *Revista Forestal Centroamericana* 38: 39-43.
- Fundación Neotrópica-CCT. 1994. Mapa de capacidad de uso de las tierras forestales de Costa Rica (Digitalizado por el CCT). Consultado 1 nov. 2005. Disponible en: <http://documentacion.sirefor.go.cr/archivo/mapas/OT>.
- Gamboa V, B. 2006. Contexto Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico Boruca. Proyecto Hidroeléctrico Boruca UEN PySA, Instituto Costarricense de Electricidad. Serie Documentos para el análisis del contexto general del Proyecto Hidroeléctrico Boruca (no.2).
- García V, R. 1996. Proyecto Gruas: Informe de País: Costa Rica. Propuesta técnica de ordenamiento territorial con fines de conservación de biodiversidad. Proyecto Corredor Biológico Mesoamericano CCA-PNUD/GEF RLA/95/G41. Ministerio del Ambiente y Energía/Sistema Nacional de Áreas de Conservación, CR. 102 p.

- Gascon, C; Lovejoy, TE; Bierregaard, RO; Malcolm, JR; Stouffer, PC; Vasconcelos, HL; Lawrence, WF; Zimmerman, B; Tocher, M; Borges, S. 1999. Matrix habitat and species richness in tropical forest remnants. *Biological Conservation* 91: 223-229.
- Gómez, LD; Herrera, W. 1986. Vegetación de Costa Rica. En: Vegetación y clima de Costa Rica, Volúmen 1. San José, CR.
- Gómez Barrantes, M; Madrigal Pana, J. 2002. Migración interna en Costa Rica en el período 1927-2000. INEC-UCR, Costa Rica. 35 p.
- Gomi, T; Sidle, RC; Richardson, JS. 2002. Headwater and Network Systems: Understanding Processes and Downstream Linkages of Headwater Systems. *Bioscience* 52 (10): 1-11.
- Goodwin, BJ. 2003. Is landscape connectivity a dependent or independent variable? *Landscape Ecology* 18: 687-699.
- Guerrero, E. 2004. Enfoque ecosistémico y corredores: dos conceptos que promueven una gestión integral de la biodiversidad. In: Cracco, M; Guerrero, E. eds. Aplicación del Enfoque Ecosistémico a la Gestión de Corredores en América del Sur. Memorias del Taller Regional, 3 al 5 de junio. UICN. Quito, EC. p: 3-5.
- Gustafson, EJ. 1998. Quantifying Landscape Spatial Pattern: What Is the State of the Art? *Ecosystems* 1 (2): 143-156. *Sólo resumen.*
- Harvey, CA; Haber, WA. 1999. Remnant trees and the conservation of biodiversity in Costa Rican pasture. *Agroforestry Systems* 44: 37-68.
- Hernández Cáceres, AJ. 2003. Dinámica del uso de la tierra y de la oferta hídrica en la cuenca del Río Guacerique, Tegucigalpa, Honduras. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 112 p.
- Hockings, M; Stolton, S; Dudley, N. 2000. Evaluating effectiveness: A Framework for Assessing the Management of Protected Areas. Phillips, A. ed. World Commission on Protected Areas (WCPA)/ IUCN, Cambridge, UK. 121p. (Best Practice Protected Area Guidelines Series No.6).
- 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.
- Holdridge, L; CCT. 1988. Zonas de Vida de Holdridge dentro de la zona piloto de alta prioridad por su falta de representación en áreas protegidas. G. Powell y S. Palminteri eds. Mapa digitalizado de un impreso a Escala 1/200000.
- INBio (Instituto Nacional de Biodiversidad, CR). 2002. Mapa de ecosistemas del Área de Conservación Osa, Costa Rica. Esc. 1:40000. Heredia, CR. Color. (Proyecto Ecomapas)
- _____. 2005. Mapa de ecosistemas del Área de Conservación La Amistad Pacífico, Costa Rica. Unidad mínima mapeable 3ha. Heredia, CR. Color. (Proyecto Ecomapas)
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos, CR). (sf). Proyecciones Distritales de Población de Costa Rica 1970-2030. Centro Centroamericano de Población. Consulta a censos y grandes bases de datos estadísticas. Consultado 15 jun. 2006. Disponible en: <http://censos.ccp.ucr.ac.cr/cgi-bin/consulta>
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2002. Cambio climático y biodiversidad. Gitay, H; Suárez, A; Watson, RT. y Dokken, DJ. eds. 85 p. (Documento técnico V del IPCC). Consultado 11 dic. 2005. Disponible en: http://www.ipcc.ch/pub/tpbiodiv_s.pdf.

- ITCR (Instituto Tecnológico de Costa Rica). 2000. Atlas digital de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal, Laboratorio de Información Geográfica, Cartago, CR.
- IUCN. s.f. Plan de acción de Durban. Consultado 14 Nov. 2005. Disponible en: http://iucn.org/themes/wcpa/wpc2003/pdfs/outputs/wpc/durbanactionplan_sp.pdf
- Jiménez, F. 2005. Estado de la diversidad biológica de los árboles y bosques en Costa Rica - Documento de Trabajo sobre Recursos Genéticos Forestales. En: Taller Regional sobre los Recursos Genéticos Forestales de Centroamérica, Cuba y México (2002, Turrialba, CR). FAO, Roma, IT. Documento de Trabajo FGR/46S.
- Jiménez Romero, G. 2000. Propuesta metodológica en el diseño y evaluación de un corredor biológico en la Reserva Forestal Golfo Dulce, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 89p.
- Jordán, F. 2000. A reliability –theory approach to corridor design. *Ecological Modeling* 128: 211-220.
- Kaimowitz, D. 1997. Livestock and deforestation in Central América in the 1980s and 1990s: a policy perspective. Bogor: Center for International Forestry Research (CIFOR), Bangor, ID.
- Kappelle, M; Castro, M; Acevedo, H; González; Monge, H. 2003. Ecosistemas del Área de Conservación Osa (ACOSA). Editorial INBio, Heredia, CR. 500 p.
- Kattan, GH. 2002. Fragmentación: patrones y mecanismos de extinción de especies. En: Guariguata, MR.; Katan, GH. eds. *Ecología y conservación de Bosques Neotropicales*. EULAC/GTZ. Primera edición. Ediciones LUR. Cartago, CR. p. 561-590.
- Kleinn, C; Corrales, L; Morales, D. 2002. Forest area in Costa Rica: a comparative study of tropical forest cover estimates over time. *Environmental Monitoring and Assessment* 73 (1): 17–40.
- Leimgruber, P; Christen, CA; Laborderie, A. 2005 The impact of Landsat Satellite monitoring on conservation biology. *Environmental Monitoring and Assessment* 106: 81–101.
- Lambin, EF; Rounsevell, MDA; Geist, HJ. 2000. Are agricultural Land-use models able to predict changes in land-use intensity? *Agriculture, Ecosystems and Environment*.82:.321-331.
- Lobo Valverde, S. s.f. Situación y problemática de los incendios forestales. Costa Rica. Sistema Nacional de Áreas de Conservación, Ministerio del Ambiente y Energía, Gerencia de Manejo de Recursos Naturales. San José, CR. 15 p. Consultado 12 oct. 2006. Disponible en: http://documentacion.sirefor.go.cr/archivo/incendios/Informe%20Incendios-Costa%20Rica%20CCAD%20_SINAC,%20Mayo%202005_.pdf
- Low, G. 2003. Landscape – scale conservation: A Practitioner’s Guide. 3ra ed. The Nature Conservancy (TNC), Virginia, US. 62p.
- Maisel, L. 1971. Probabilidad y estadística. México, DF (MX). 280 p.
- Malcolm, JR; Liu, C; Miller, LB; Hansen, L; Allnutt, T. 2002. Global warming and species loss in globally significant terrestrial ecosystems. WWF, Gland, CH. 40 p.
- Malczewski, J. 1999. GIS and Multicriteria decision analysis. John Wiley & Sons, New York, US. 392p.

- Maldonado, T. 1997. Uso de la tierra y fragmentación de bosques: algunas áreas críticas en el área de conservación OSA, Costa Rica. Fundación Neotrópica, Centro de Estudios Ambientales y Políticas (CEAP), San José, CR. 71 p.
- Margules, CR; Pressey, RL. 2000. Systematic conservation planning. *Nature* 405: 243-253.
- Marozzi Rojas, M. s.f. Valoración ordinal económica ecológica de escenarios de manejo de los recursos hídricos y naturales en la subcuenca del Río Segundo y Río Ciruelas, Canton De Santa Barbara , Heredia, CR. Proyecto interinstitucional de investigación aplicada (UNA-CINPE-ICE-SENARA-CNFL-ESPH-MINAE) 2002-2004: Evaluación multicriterio para la gestión integrada de microcuencas Ríos Ciruelas y Río Segundo, subcuenca Río Virilla. Universidad de Costa Rica, CR. 30 p.
- Mas, JF. 2005. Assessing protected area effectiveness using surrounding (buffer) areas environmentally similar to the target area. *Environmental Monitoring and Assessment* 105: 69–80.
- McCarthy, R; Godoy, JC; Salas, A; Cruz, JC. 1997. Buscando respuestas: nuevos arreglos para la gestión de áreas protegidas y del corredor biológico en Centroamérica. 1ª edición. Unión Mundial para la Naturaleza (UICN), San José, CR. 68 p.
- McGarigal, K; Cushman, SA; Neel, MC; Ene, E. 2002. Fragstats: spatial pattern analysis program for categorical maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Consultado 25 oct. 2005. Disponible en: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.
- McIntyre, S; Barret, GW. 1992. Habitat variegation, an alternative to fragmentation. *Conservation Biology* 6 (1): 146-147.
- 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.
- Miller, K; Chang, E; Jonson, N. 2001. Defining common ground for the Mesoamerican Biological corridor. World Resources Institute. 45p.
- Morera, C; Romero, M; Avendaño, D; Alvarado, M. 2005. Caracterización y evaluación de la conectividad física potencial entre el Parque Nacional Piedras Blancas/Reserva de Vida Silvestre Golfito y la Fila de Cal. *In* Memorias Seminario Taller Internacional Corredores Biológicos: Metodologías y experiencias (9,10 de Noviembre del 2005). 1 disco compacto.
- Moricochi, L; Pino, FA; Vegro, CR. 1995 Método Delphi como alternativa para previsao de safras: o exemplo do café. *Informacoes Economicas* 25 (12): 47-52.
- Murrieta A, E. 2005. Caracterización de cobertura vegetal y propuesta de una red de conectividad ecológica en el Corredor Biológico Volcánica Central –Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag..Sc. CATIE, Turrialba, CR. 114 p.
- Palminteri, S; Powell, G; Fernández, A; Tovar, D. 1999. Talamanca Montane Istmian Pacific Ecoregion Based conservation plan: Preliminary reconnaissance phase. Tropical Science Center, San José, CR. 118 p.
- Pedroni, L. 2000. Estimation and use of modified prior probabilities for digital classification improvement of tropical forests. Tesis PH.D. CATIE, Turrialba, CR P.irr.
- Poiani, KA; Richter, BD; Anderson, MG; Ritchter, HE. 2000. Biodiversity Conservation at Multiple Spatial Scales: Functional Sites, Landscapes and Networks. *Bioscience* 50 (2):133-146.

- Portuguez B, CF; Mora Alvarado, D. y Brenes Salas, G. 2003. Calidad microbiológica del Río Grande de Térraba período 2002. *Revista Costarricense Salud Pública* 12 (23):11-21.
- Prato, T. 2001. Spatial Decision Support Systems For Assessing Impacts Of Landscape Change In Greater Ecosystems. *In* Conference on Research and Resource Management in Parks and on Public Lands (11, 2001, Colorado, US). *Crossing Boundaries in Park Management*. Ed. D. Harmon. The George Wright Society, Michigan, US. p. 57-61. Consultado 19 jul. 2005. Disponible en: <http://www.georgewright.org/>
- Primack, R; Rozzi, R; Feinsinger, P; Dirzo, R; Massardo, F. 1998. *Fundamentos de conservación biológica: perspectivas latinoamericanas*. Fondo de cultura económica, México D.F., MX. 797 p.
- Quirós, O; Hartwich, F. 2003. Alianzas público-privadas para investigación y desarrollo en cadenas agroindustriales: la situación en Costa Rica. Proyecto "Alianzas público-privadas en la investigación: hacia el desarrollo agroindustrial en Centroamérica". San José, CR. 112 p.
- Ramirez, E; Calvo, JC. 2003. Caracterización de los sistemas agroforestales con café en el Área de amortiguamiento de la Reserva de Biosfera La Amistad, Pejibaye de Jiménez, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 10 (37-38): 69-73.
- Ramos Bendaña, ZS; Finegan, B. 2006. Red ecológica de conectividad potencial. Estrategia para el manejo del paisaje en el Corredor Biológico San Juan – La Selva. *Recursos Naturales y Ambiente* no. 49. *En prensa*.
- Rossero-Bixby, L; Maldonado-Ulloa, T; Bonilla-Carrión, Roger. 2002. Bosque y población en la Península de Osa, Costa Rica. *Revista Biología Tropical* 50 (2): 584-598.
- RSI (Research System Inc). 2003. ENVI User's guide. ENVI versión 4.0. 1084 p.
- Salem, BB. 2003. Application of GIS to Biodiversity Monitoring. *Journal of Arid Environments* no.54: 91–114
- Sanchez-Azofeifa, GA. 2000. Land use and cover change in Costa Rica: A geographic perspective. *In* Hall, CAS; Leclerc, G; Leon Perez, C. eds. *Quantifying sustainable development: the future of tropical economics*. Academia Press, San Diego, US. p. 473-501.
- Sanchez-Azofeifa, GA., Harriss, RC., Skole, DL. 2001. Deforestation in Costa Rica: a quantitative analysis using remote sensing imagery. *Biotropica* 33 (3): 378–384.
- Sanchez-Azofeifa, GA; Quesada-Mateo, C; Gonzales—Quesada, P; Dayanandan, S; Bawa, KS. 2003 Integrity And Isolation Of Costa Rica's National Parks And Biological Reserves: Examining The Dynamics Of Land-Cover Change. *Biological Conservation* 109: 123–135.
- Sánchez Campos, K. 2002. Metodología de análisis multicriterio para la identificación de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 149 p.
- Sánchez Merlos, D. Harvey, CA; Grijalva, A; Medina, A; Vílchez, S. Hernández, B. 2005. Diversidad, composición y estructura de la vegetación en un agropaisaje ganadero en Matiguás, Nicaragua. *Revista de Biología Tropical* 53(3-4):387-314.
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación, CR). 1999. Breve Descripción del Estado de los Recursos Forestales de Costa Rica. San José, Costa Rica. sp. Consultado el 21 oct. 2005. Disponible en: <http://documentacion.sirefor.go.cr/archivo/cobertura/informeSINAC1999.pdf>

- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación, CR). 2003. Informe Nacional sobre el Sistema de Áreas Silvestres Protegidas. Febrero, 2003. Gerencia de Áreas Silvestres Protegidas, Sistema Nacional de Áreas de Conservación, Ministerio del Ambiente y Energía. San José, CR. 70 p.
- Stanfield, BJ; Bliss, JC; Spies, TA. 2002. Land ownership and landscape structure: a spatial analysis of sixty-six Oregon (USA). Coast Range watersheds. *Landscape Ecology* 17: 685–697.
- Strande, D. 2003. Level 1G (L1G) product evaluation criteria. USGS EROS Data Center, South Dakota, US. (L7-PD-10.1)
- Tischendorf, L. 2001. Can landscape indices predict ecological processes consistently?. *Landscape Ecology* 16: 235–254.
- 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. Vol 1. 59 p.
- TNC. 2004. Guía de acciones para la conservación en el sitio prioritario Área de Conservación Osa (ACOSA) San José, CR. 45p. Documento en revisión.
- Trejos Castillo, Noel. 2004. Dinámica del uso de la tierra e identificación de las áreas críticas de la región de Playa Venado, provincia de Los Santos, República de Panamá. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 120 p.
- Ureña, J; Palao, M. 1981. Propuesta de modificación del método Delphi para su uso en la ordenación del territorio. *Revista de Obras Públicas*: 507-612.
- Vanacker, V; Gover, G; Barros, S; Poesen, J; Deckers, J. 2003. The effect of short-term socio-economic and demographic change on landuse dynamics and its corresponding geomorphic response with relation to water erosion in a tropical mountainous catchment, Ecuador. *Landscape Ecology* 18: 1–15.
- Velásquez, A; Mas, JF; Díaz Gallegos, JR; Mayorga Saucedo, R; Alcántara, PC; Castro, R; Fernández, T; Bocco, G; Ezcurra, E; Palacio, JL. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica* 62: 21-37.
- Waldhardt, R. 2003. Biodiversity and landscape-summary, conclusions and perspectives. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98: 305-509.
- Williams, P; Hannah, L; Andelman, S; Midgley, G; Araujo, M; Hughes, G; Manne, L; Martinez-Meyer, E; Pearson, R. 2004. Planning for climate change: identifying minimum-dispersal corridors for the Cape Proteaceae. *Conservation Biology* 19 (4): 1063–1074.
- Wilson, EO. 1988. The current state of biological diversity. *Biodiversity*. E.O. Wilson (ed). National Academy Press, US. p 3-18.
- WWF (Fondo Mundial para la naturaleza, CH). 2004. Are Protected Areas Working? An Analysis of Forest Protected Areas by WWF. WWF. 32p. Consultado 15 jul. 2005. Disponible en: [Http://WWW.Panda.Org/Downloads/Forests/Areprotectedareasworking.Pdf](http://WWW.Panda.Org/Downloads/Forests/Areprotectedareasworking.Pdf)

ANEXOS

Anexo 1. Lista de expertos que participaron en el proceso de consulta.

Nombre	Especialidad	Institución
Gladys De Marco	Adm. Empresas/Ing. Forestal	SINAC-MINAE - ACLA-P
Mildred Jimenez	Ingeniero forestall	Bosque Modelo Reventazón
Bryan Finegan	Ecología	CATIE
Christian Brenes	Geografo	CATIE
Lindsay Canet Desanti	Corredores biológicos	CATIE
Roger Villalobos	Ing. Agronomo	CATIE
Eduardo Blanco E.	Conocimiento local	Consejo Regional
Fernando Bermudez	Areas protegidas	Consultor independiente
Gil Ruiz	Ingeniero forestall	Consultor independiente
Cristian Valenciano	Ingeniero forestall	Corredor Biológico Paso de la Danta EARTH-Secretario de la Red de Áreas Protegidas Privadas
Carlos Sandi	Ingeniero forestall	Protegidas Privadas
Eduardo Murrieta	Master en manejo de bosques	Egresado del CATIE
Jose Gonzales Maya	Conservación, Mamíferos	Estudiante del CATIE
Patricia Villanueva C.	Conservación, Educación Ambiental	Fundación Reserva Biológica Durika
Wendy Villanueva C.	Asistente Administrativa	Fundación Reserva Biológica Durika
Nelson Zamora	Flora	INBio
Elvis Arias	Geógrafo	INBio - Proyecto GRUAS II
Braulio Vilchez	Ecología Forestal	Instituto Tecnológico de Costa Rica
Diego Delgado	Ingeniero Agrónomo y Master en bosques	Investigador - CATIE
José M. Quirós R.	Manejo Forestal y Vida Silvestre	MINAE-ACOSA
Wendy Barrantes R.	Manejo de Recursos Naturales	MINAE-ACOSA
Gustavo Indumi	Biólogo, Manejo y conservación de vida silvestre	MINAE-SINAC
Anonimo	Biología	MINAE-ACLA-P-SINAC
Maria Isabel Chavarría	Ingeniero forestall	MINAE-Coordinadora de Corredores biológicos
Gerardo Mora	Ingeniero forestall	MINAE-Corredores Biológicos-ACLA-P MINAE-Gerente de Áreas Protegidas- ACLA-P
Luis Sanchez	Protección y manejo de recursos naturales	ACLA-P
Guillermo Durán	Sistemas de Información Geográfica	OET-Estación las Cruces
Zak Zahawi	Restauración ecológica	OET-Estación las Cruces
Rodolfo Quiros	Biología y ecología	OET-Estación las Cruces
José A. Valeri Sánchez	Técnico administrativo	PHB ICE
Minor Silogo Lobo	Agricultor	Redes CC
Felipe Caraza	Manejo de Recursos Naturales	The Nature Conservancy
Stanley Arguedas	Manejo de Áreas Protegidas	UCI-ELAP
Jorge Lobo	Biólogo	UCR
Federico Bolaños	Biología (Herpetología)	Universidad de Costa Rica
Jan Scheeper	Estudiante Doctorado	Convenio CATIE-Idaho
Gerardo Umaña	Ecología de ambientes acuáticos	Universidad de Costa Rica

Anexo 2. Datos técnicos originales de las variables utilizadas en el diseño de la red de conectividad estructural.

Variable	Fuente	Escala	
		original	Procesamiento ²⁵
Cobertura o usos de la tierra	Proyecto Ecomapas (INBio 2002 y 2005, Kappelle et ál. 2002)	1/40000	Recategorización en usos de la tierra
Área interior y forma de Cobertura natural	Proyecto Ecomapas (Kappelle et ál. 2003)	1/40000	Separación de las coberturas recategorizadas como Bosques y manglares. Eliminación de un borde de 100 m. en todos los parches, a través del <i>Patch Analyst</i> y cálculo del índice de forma con la misma extensión.
Capacidad de uso de la tierra	Mapa de capacidad de uso de las tierras forestales de Costa Rica (Fundación Neotropica Y CCT 1994)	1/50000	Ninguno
Densidad de poblados	Ubicación de los poblados en el Atlas de Costa Rica (ITCR 2004)	1/200000	A través de la extensión <i>spatial Analyst</i> y su función <i>Calcule density</i> , se tomó en cuenta un radio de 5 km para calcular la densidad.
Distancia a Vías (m)	Cartas Nacionales (Proyecto Terra)	1/25000	A través de la extensión <i>spatial Analyst</i> y su función <i>Find Distance</i> tomando en cuenta solo las carreteras principales se estima la distancia a las carreteras para cada píxel
Altitud	Cartas Nacionales (Proyecto Terra)	1/25000	A través de la extensión <i>spatial Analyst</i> y su función <i>create TIN from features</i> utilizando las curvas de nivel y los ríos. El TIN se convierte a formato raster convirtiéndose en el Modelo de elevación digital (MED). El MED en grid es categorizado de acuerdo a su vulnerabilidad (Palminteri 1999).
Pendiente	MED	1/25000	Del MED creado se derivan las pendientes.
Distancia a ríos (m)	Cartas Nacionales (Proyecto Terra)	1/25000	A través de la extensión <i>spatial Analyst</i> y su función <i>Find Distance</i> , tomando en cuenta solo los ríos de primer, segundo y tercer orden se estima la distancia para cada píxel

²⁵ Finalmente todas las variables fueron convertidas a formato raster con un tamaño de píxel de 28.5m x28.5m

Anexo 3. Prioridad y ponderación de las variables para identificar los núcleos prioritarios.

Variable	Orden de prioridad*	Ponderación
Tamaño del área del fragmento de bosque	1	21,00%
Forma	2	17,00%
Altitud	3	14,00%
Cobertura	3	14,00%
Distancia a Ríos	3	14,00%
Distancia a carreteras	4	10,00%
Densidad de poblados	4	10,00%
Total		100,00%

*El orden de prioridad de las variables empieza por 1 para la más importante.

Anexo 4. Recategorización de los ecosistemas del Proyecto Ecomapas en clases de uso de la tierra.

Nueva categoría	Clasificación de Ecomapas	Descripción
Bosque	Bosque denso, bosque denso de <i>Attalea rostrata</i> , bosque denso de Yolillo, bosque ralo, bosque ralo de <i>Attalea rostrata</i> , bosque ralo de Cerillo, bosque ralo de Coyol, bosque ralo de Yolillo	Áreas mayores a dos ha con vegetación arbórea > 5m mayor al 60% de la cobertura
Manglar	Bosque denso de mangle y bosque ralo de mangle	Manglares
Otros humedales	Bosque de cerillo, Bosque de Yolillo, Negra forra	Coberturas naturales en zonas inundables
Matorral	Matorral denso, matorral denso arbolado, matorral denso arbolado de <i>Attalea rostrata</i> , matorral denso arbolado de Cerillo, matorral denso con <i>Attalea rostrata</i> , matorral denso de sabana, matorral ralo, matorral ralo de <i>Attalea rostrata</i> , matorral ralo de sabana, matorral ralo pantanoso y bambú	Vegetación arbustiva secundaria menor a 3 m de alto > 60%, Cobertura arbórea < 40% y bambu
Pasto con árboles	Herbazal Arbolado con <i>Attalea rostrata</i> , <i>Herbazal arbolado con Yolillo</i> , herbazal arbolado para forraje, herbazal arbustivo, herbazal arbustivo de sabana, herbazal arbustivo para forraje, herbazal denso arbolado, herbazal denso arbolado, herbazal denso con <i>Attalea rostrata</i>	Pastizales y herbazales con cobertura leñosa y arbustiva entre el 40 % y 5 % (sistemas agroforestales y pastizales en sucesión secundaria)
Plantaciones forestales	Bosque Denso de Melina, bosque denso de hule, bosque denso de plantación forestal, bosque denso de teca, bosque ralo de melina, matorral denso arbolado con eucalipto, matorral denso de melina, matorral denso de plantación forestal	Plantaciones forestales
Café con sombra	Matorral Denso Arbolado de Café con Sombra	
Cultivos agrícolas no intensivos	Herbazal Denso de Cultivos Agrícolas	Cultivos con árboles y mixtos no intensivos en áreas pequeñas
Cultivo agrícola permanente	Matorral Denso Arbolado de Palma de Aceite, bosque Denso de Palma de Aceite, bosque denso de Pejibaye y Herbazal arbustivo de Palma de aceite, matorral Ralo de Café y matorral Denso de Café,	Monocultivos permanentes intensivos
Pastos	Herbazal denso, Herbazal Denso de Sabana, Herbazal Denso para Forraje, Herbazal Denso Quemado, Herbazal Ralo, Herbazal Ralo de Forraje, Herbazal Ralo de Negra Forra, Herbazal Denso de Negra Forra	Pastizales para forrajes y herbazales sin árboles o menos de 5% de cobertura arbórea
Cultivo agrícola intensivo	Herbazal Denso de Arroz, Herbazal Denso de Banano, Herbazal Denso de Caña de Azúcar, Herbazal Denso de Piña,	Cultivo intensivo, con uso técnicas no compatibles con la conservación.
Suelo desnudo	Terreno descubierto y Terreno descubierto quemado	Suelo desnudo
Infraestructura	Infraestructura	Centros poblados y ciudades
Cuerpos de Agua	Cuerpos de Agua	Ríos y lagunas
Nubes y Sombras	Nubes y sombras	No interpretados

Fuente: Clasificación del proyecto Ecomapas (INBio 2002 y 2005 y Kappelle et ál. 2003)

Anexo 5. Matriz de asignación del conflicto de uso

Uso actual	Capacidad de uso					
	Agropecuarios	Agropecuario restringido	Plantaciones	Manejo Forestal	Protección	
					VIII	Protección
Bosque	SU	SU	SU	UA	UA	UA
Manglares	SU	SU	SU	UA	UA	UA
Otras ecosistemas inundables	SU	SU	SU	UA	UA	UA
Plantaciones forestales	SU	SU	UA	SOU	SOU	SOU
Charrales y tacotales	SU	UA	SU	UA	UA	UA
Café sombra	UA	UA	SOU	SOU	SOU	SOU
Pastos con leñosas	UA	UA	SOU	SOU	SOU	SOU
Pastos	UA	SOU	SOU	SOU	SOU	SOU
Cultivos perennes	UA	SOU	SOU	SOU	SOU	SOU
Cultivos/anuales	UA	SOU	SOU	SOU	SOU	SOU
Suelo desnudo	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Infraestructura	SOU	SOU	SOU	SOU	SOU	SOU
Cuerpos de agua	UA	UA	UA	UA	UA	UA
Nubes	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Sombras	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Leyenda

Subuso	SU
Uso adecuado	UA
Sobreuso	SOU
No aplica	NA

Anexo 6. Prioridad y ponderación de los criterios para identificar la dificultad al desplazamiento en la matriz.

Variable	Prioridad	Ponderación
Tipo de cobertura	1	28%
Distancia a ríos (m)	2	22%
Conflicto de uso agronómico	3	17%
Distancia a poblados (m)	3	17%
Distancia a carreteras(m)	3	17%
Total		100%

Anexo 7. Datos técnicos de las imágenes satelitales utilizadas.

AÑO	1987	1997	2003
Fecha de la toma	01/17/87	17/03/1997	2003/01/21
Path	14	14	14
Row	54	54	54
Azimut	129,53	103,45	133,0389861
Elevación	43,03	52,68	47,9110555
Tamaño de píxel para las bandas reflectivas (1-5,7)	28,50 m	30,00 m	28,5 m
Datum Horizontal	WGS84	WGS84	WGS84
Proyección original	UTM17	UTM17	Costa Rica Transversal Mercator
Método de remuestreo (resampling)	Convolución cúbica Cubic convolution CC	Sin datos	Vecino más cercano (<i>Nearest neighbor</i>)
Método de Procesamiento	NLAPS	Sin datos	LPGS (Level 1 product Generation System)
Nivel de corrección inicial	1G (corregido sistemáticamente)	1G(corregido sistemáticamente)	1 G (corregido sistemáticamente)

Anexo 8. Análisis de varianza de la precisión en la clasificación de la imágenes Landsat 2003 producida por las diferentes combinaciones de información auxiliar.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
PRECISION	28	1,00	1,00	0,08

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	510,91	21	24,33	5309,59	<0,0001
CAFÉ	2,47	1	2,47	539,54	<0,0001
FILTROS	31,29	1	31,29	6828,99	<0,0001
CAPAS	472,99	6	78,83	17204,23	<0,0001
CAFÉ*FILTROS	0,07	1	0,07	16,16	0,0070
CAFÉ*CAPAS	3,00	6	0,50	109,24	<0,0001
FILTROS*CAPAS	1,08	6	0,18	39,31	0,0001
Error	0,03	6	4,6E-03		
Total	510,94	27			

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=0,16564

Error: 0,0046 gl: 6

CAFÉ	CAPAS	Medias	Precisión	n	
CON CAFÉ	NDVI	77,70		2	a
CON CAFÉ	SOLO	78,54		2	b
SINCAFE	SOLO	78,73		2	c
SINCAFE	NDVI	79,51		2	d
SINCAFE	TASSELED	82,62		2	e
CON CAFÉ	TASSELED	82,65		2	e
CON CAFÉ	NDVI-MED	84,36		2	f
SINCAFE	NDVI-MED	85,42		2	g
CON CAFÉ	NDVI-MED-ASPECTO	86,99		2	h
CON CAFÉ	TASELED-MED\	87,40		2	i
SINCAFE	TASELED-MED\	87,44		2	i
SINCAFE	NDVI-MED-ASPECTO	88,02		2	j
CON CAFÉ	TASSELED-MED-ASPECTO	89,80		2	k
SINCAFE	TASSELED-MED-ASPECTO	89,87		2	k

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=0,16564

Error: 0,0046 gl: 6

FILTROS	CAPAS	Medias	Precisión	n	
SIN FILTRAR	NDVI	77,16		2	a
SIN FILTRAR	SOLO	77,43		2	b
Filtro	SOLO	79,83		2	c
Filtro	NDVI	80,05		2	d
SIN FILTRAR	TASSELED	81,58		2	e
Filtro	TASSELED	83,69		2	f
SIN FILTRAR	NDVI-MED	83,85		2	f
Filtro	NDVI-MED	85,93		2	g
SIN FILTRAR	TASELED-MED\	86,53		2	h
SIN FILTRAR	NDVI-MED-ASPEC	86,55		2	h
Filtro	TASELED-MED	88,31		2	i
Filtro	NDVI-MED-ASPECTO	88,46		2	i
SIN FILTRAR	TASSELED-MED-ASPECTO	89,02		2	j
Filtro	TASSELED-MED-ASPECTO	90,65		2	k

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)

Anexo 9. Matriz de confusión de la clasificación en usos de la tierra de la imagen Landsat 2003.

Clasificación	Coberturas verdaderas (%)									
	Bosque	Manglares y otros humedales	Charrales y plantaciones	Café	Palma de aceite	Cultivos	Pastos y caña	Piña	Agua	Infraestructura
Bosque	89,66	0,00	3,09	0,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Manglares y otros humedales	0,18	99,88	0,00	0,00	0,70	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
Charrales y plantaciones	8,80	0,00	92,00	2,92	0,39	1,24	6,27	0,00	0,00	0,00
Café	0,74	0,00	0,25	95,20	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00
Palma de aceite	0,05	0,00	0,91	0,00	98,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cultivos	0,03	0,04	0,00	0,00	0,39	93,78	0,81	0,00	0,00	0,20
Pastos y caña	0,54	0,00	3,59	1,04	0,00	4,15	92,58	5,49	0,00	1,43
Piña	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,10	94,14	0,00	0,00
Agua	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,42	0,00
Infraestructura	0,00	0,04	0,08	0,00	0,00	0,83	0,10	0,37	0,58	98,37

- En negrita están resaltadas el porcentaje de píxeles que resultaron correctamente clasificados.
- En azul se resaltan el porcentaje de confusión que se presenta en cada categoría

Anexo 10. Precisiones generales por categoría de uso de las clasificaciones realizadas

Precisión (%)	Productor			Usuario		
	1987	1997	2003	1987	1997	2003
Usos de la tierra						
Bosques	94,83	87,51	88,66	97,59	96,18	95,66
Manglares y otros humedales	99,92	88,14	99,88	100,0	99,78	99,28
Charrales, tacotales y plantaciones forestales	91,73	87,04	92,0	88,74	80,78	78,7
Café	92,43	93,56	95,2	88,93	91,31	92,31
Palma de aceite	99,06	98,04	98,53	99,69	84,41	98,15
Pastos y caña de azúcar	95,31	92,65	92,58	95,68	87,51	95,3
Cultivos anuales	97,9	97,49	99,27	95,96	96,1	98,11
Piña	96,1	100,0	94,14	100,0	100,0	99,21
Agua	99,41	98,48	99,42	99,85	99,56	99,71
Infraestructura	99,11	96,09	98,37	96,31	98,36	97,18

Anexo 11. Metodología para calcular la matriz de Markov.

El método utilizado por Hernández (2003) consiste en realizar un muestreo con puntos o pares de coordenadas (X, Y) generadas aleatoriamente. El objetivo del muestreo obedece al hecho de evaluar las transiciones en términos probabilísticas. Antes de proceder a la generación de puntos en el área de estudio se extrajo del área total el área correspondiente a las nubes en los 3 años evaluados, para evitar que el efecto de las nubes interfiriera en el cálculo de las probabilidades de cambio.

Para calcular el número o tamaño n de puntos apropiados se generaron una serie de tamaños de muestra o puntos aleatorios n_i . Para cada n_i se calculó la varianza σ^2 de la probabilidad de cambio en una clase de uso seleccionada arbitrariamente “bosque” entre dos escenarios de tiempo (Cuadro 27). La varianza obtenida para cada tamaño de muestra fue evaluada en un modelo de regresión cuadrática utilizando el software estadístico *Infostat* versión 2006. Así de la función de segundo grado o primera derivada entre la varianza y el tamaño muestral que minimiza la varianza ($ds/dn = -\beta_1 / 2\beta_2$) se pudo estimar el tamaño óptimo de la muestra n en 4900 parcelas o puntos aleatorios a generar.

Para los 4.900 puntos se extrajo la información de uso de la tierra para cada año evaluado (1987, 1997 y 2003) usando la extensión *Mila grid Utilities* de *Arcview* 3.3. A partir de esta información se construyeron las matrices markovianas de probabilidad de cambio por cada uso de la tierra para cada período analizado de acuerdo al procedimiento utilizado por Baritto (2000) y Hernandez (2003). Las matrices de probabilidades de transición registran la probabilidad de que cada categoría de uso de la tierra cambiará a otra categoría en el período de tiempo próximo al de las imágenes clasificadas analizadas. En esta matriz bidimensional las filas representan el uso anterior del uso de la tierra y las columnas representan el uso en el año final. Esta matriz se construye bajo el supuesto que el uso de la tierra para un determinado instante (t_n) es estático y la variabilidad encontrada en el paisaje es espacial. El procedimiento seguido para el cálculo de las probabilidades de transición se describe a continuación.

Cuadro 1. Varianza estimada de p (probabilidad de cambio) para la categoría de bosque por tamaño de muestra n , evaluado

Número de puntos (n)	Puntos en bosque	Parcelas sin cambio	Parcelas con cambio	q	P	σ^2_n
500	122	109	13	0,893	0,119	0,0002135
1.000	274	218	56	0,796	0,257	0,0002046
1.500	414	320	94	0,773	0,294	0,0001515
2.000	534	429	105	0,803	0,245	0,0000984
2.500	736	587	149	0,798	0,254	0,0000810
3.000	822	667	155	0,811	0,232	0,0000629
3.500	987	756	231	0,766	0,306	0,0000669
4.000	1.121	896	225	0,799	0,251	0,0000502
4.500	1.248	970	278	0,777	0,287	0,0000495
5.000	1.430	1.113	317	0,778	0,285	0,0000443
5.500	1.572	1.233	339	0,784	0,275	0,0000392

Donde: $\sigma^2_n = pq$

$n-1$ (Scheaffer y Mendenhall, 1987):

$\sigma^2_n =$ Varianza estimada de la probabilidad de cambio,

$p =$ probabilidad de cambio (proporción de la muestra que cambia),

$q =$ probabilidad de no cambio (proporción de la muestra que no cambia)

$n =$ número de parcelas evaluadas en la muestra

Descritas las clases de uso discriminadas como Usos de Tierra UT, las posibilidades de transiciones de UT_i a UT_j entre dos instantes (t_h, t_{h+1}) generará una matriz con dimensiones $i = 1, 2, 3, \dots, I$ filas y $j = 1, 2, 3, \dots, J$ columnas, compuestas $m^2 = I \times J$ posibles combinaciones de cambios de estado. En ésta n_{ij} representa la frecuencia con la que ocurre cada evento de transición y dado que la transición de una clase de uso en el instante t_{h+1} depende del uso previo en t_h la probabilidad condicional ($p_{j/i}$) será: $P_{(j/i)} = \frac{n_{ij}}{n_{i+}}$. (Figura 23).

		Usos de la tierra en el año final				P_{i+}
		UT_i				
t_h	t_{h+1}	1	2	.....	J	
Usos de la tierra en el año base UT_i	1	$P_{(1/1)}$	$P_{(2/1)}$	.....	$P_{(J/1)}$	1.0
	2	$P_{(1/2)}$	$P_{(2/2)}$	.....	$P_{(J/2)}$	1.0
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	I	$P_{(1/I)}$	$P_{(2/I)}$	.....	$P_{(J/I)}$	1.0

Figura 23. Matriz de probabilidades markovianas de transición (Baritto 2000).

Los valores $p_{j/i}$ representan la probabilidad de que una unidad de información o parcela de estudio con uso inicial i en t_h , pase a otro estado j en el siguiente instante t_{h+1} dada su condición inicial i , con $I=J$ y ambos restringidos al espacio muestral de UT. La suma horizontal de las probabilidades en j para cada uso previo i es igual a la unidad.

Anexo 12. Comparación del método automático y manual para el cálculo de las matrices de transición Markovianas.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
No cambio	40	0,65	0,32	20.44

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,63	19	0,03	1,95	0,0729
Tipo de calculo	0,01	1	0,01	0,61	0,4424
Uso	0,59	9	0,07	3,88	0,0056
Tipo de calculo*Uso	0,03	9	3,1E-03	0,18	0,9939
Error	0,34	20	0,02		
Total	0,97	39			

Test:Bonferroni Alfa:=0,05 DMS:=0,08613

Error: 0,0170 gl: 20

Tipo de calculo	Medias	n	
Manual	0,62	20	a
Automatico	0,65	20	a

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

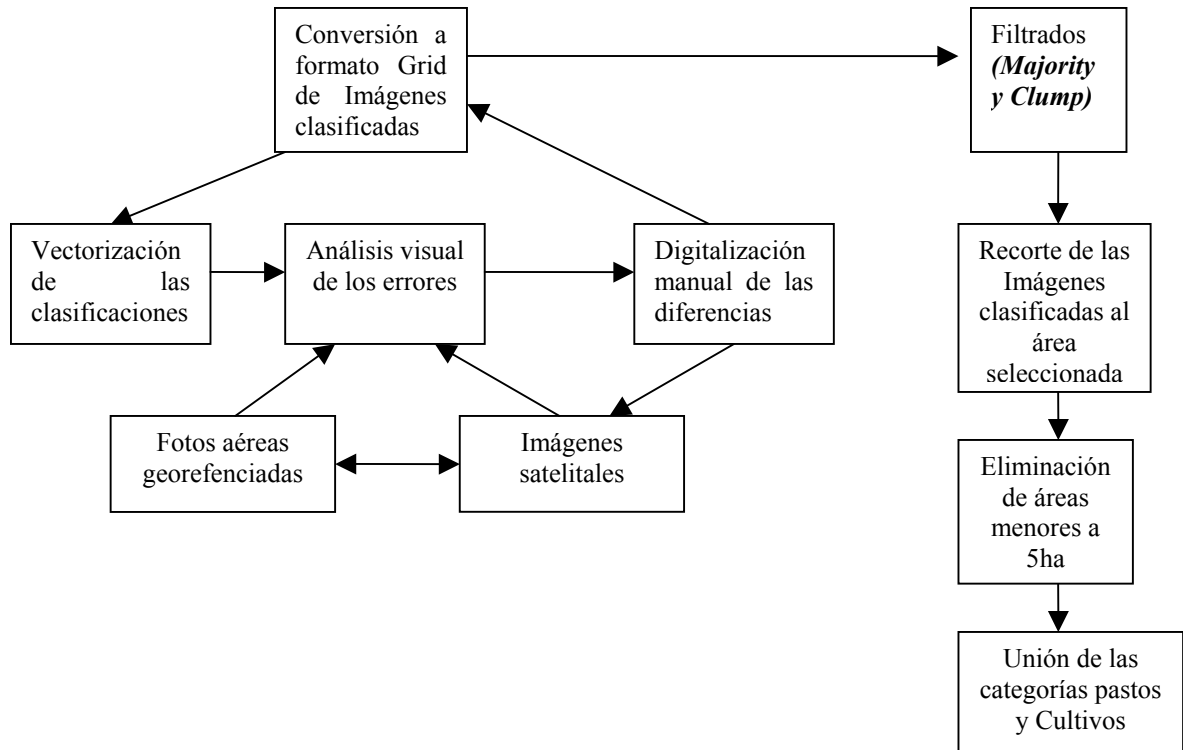
Test:Bonferroni Alfa:=0,05 DMS:=0,35123

Error: 0,0170 gl: 20

Uso	Medias	n		
Palma	0,49	4	a	
Charral	0,49	4	a	
Infraest.	0,54	4	a	b
Cultivos	0,56	4	a	b
Café	0,63	4	a	b
Pasto	0,64	4	a	b
Agua	0,65	4	a	b
Manglar	0,76	4	a	b
Bosque	0,77	4	a	b
Piña	0,87	4		b

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

Anexo 13. Pos procesamiento en el ámbito de la Alternativa 1



Anexo 14. Actores locales entrevistados sobre factores que influyen el cambio de uso de la tierra

Area de conservacion	Nombre	Institucion
ACLA-P	Adrán McDuval	PINDECO
ACLA-P	Alexis Umaña	IDA
ACOSA	Annia Cordero Méndez	MINAE-Puerto Jimenez
ACOSA	Arturo Ureña Sánchez	Fundación Neotropica
ACLA-P	Boris Gamboa	ICE-Proyecto Hidroeléctrico Veraguas
ACOSA	Carlos Rodríguez Binda	MINAE-Río Claro
ACOSA	Cristian Valenciano	ASANA
ACOSA	José Joaquín Montero	Ex-COVIRENA
NIVEL NACIONAL	Elvis Arias	GRUAS II
ACLA-P	Florisbeth Gonzáles Gonzáles	Municipalidad de Buenos Aires
ACLA-P	Gerardo Mora	MINAE-Pérez Zeledon
ACOSA	Gil Ruíz Rodríguez	MINAE-Golfito
ACOSA	Jaime González	MINAE-Palmar Norte
ACLA-P	Jeffry Villanueva	FOSBAS (Fondo Solidario para el beneficio de agrupaciones sociales)
ACLA-P	Juan Bautista Blanco	Consejo Municipal
ACLA-P	Germán Cruz Villanueva	Durika
ACLA-P	Marco Robles	MINAE-San Vito
ACLA-P	Luis Sanchez	MINAE-Pérez Zeledon
ACLA-P	Nelson Mora Mora	MINAE-Pérez Zeledon
ACLA-P	Noemy Vargas Villagra	Municipalidad de Buenos Aires
NIVEL NACIONAL	Oscar Chacón	GRUAS II
NIVEL NACIONAL	Leonardo Espinosa	FONAFIFO
ACLA-P	Rodrigo Infante Céspedes	AYA-Pérez Zeledón
ACLA-P	Roy Rodríguez	MINAE-San Vito
ACOSA	Orlando Veita Vilchez	MINAE-Río Claro
ACLA-P	Mario Chávez	MAG-Pérez Zeledon
ACLA-P	Santana Jiménez Solís	MAG-Buenos Aires
ACLA-P	Oscar Esquivel Garrote	MINAE-Perez Zeledón
ACLA-P	Freddy Cardoso	MINA-San Vito
ACLA-P	Graven Villegas	MINAE-PILA
ACLA-P	Didier Rubi Chevarria	MINAE-PILA
ACLA-P	Victor Alvarado	MINAE-Buenos Aires
ACLA-P	Jorge Elizondo	MINAE-PILA
ACOSA	Victor Guzman Arguedas	MINAE-Río Claro
ACLA-P	Walter Ortiz Barquero	MINAE-Buenos Aires
ACLA-P	Zeidy Rodrigues Guevara	Beneficiara de PSA
ACLA-P	Yamileth Solís Lozano	Organizaciones locales
ACOSA	Roverbal Almeyda	Consultor
ACLA-P	Zak Zahawi	OET
ACLA-P	Rodolfo Quiros	OET

Anexo 15. Clave para macrotipos de vegetación de Costa Rica (Gómez y Herrera 1986)

Macrotipo	Código
Bosque Lluvioso Tropical Submontano Siempreverde	17a
Bosque Submontano Semideciduo por deficit de agua	17c
Bosque Lluvioso Tropical -Subtropical Montano	18
Bosque Tropical-Subtropical Lluvioso Nuboso	19
Vegetación de Paramo	20
Bosque Tropical Siempreverde Estacional (sobre formas de origen tectónico y de erosión)	22
Bosque Tropical Siempre Verde Estacional (sobre formas de sedimentación fluvial)	23
Sábanas Arboladas	25
Bosque Tropical Lluvioso de Bajura (Sobre formas de sedimentación aluvial)	26
Bosque Tropical Lluvioso de Bajura (Sobre formas de sedimentación marina calizas)	28
Bosque Tropical Lluvioso de Bajura (Sobre formas de sedimentación aluvial, de origen tectónico o de origen volcánico)	29
Pantanos Herbáceos	31a
Selvas Anegadas Igapoides	31b
Manglares	31c
Bosque Tropical Lluvioso de Bajura (Sobre formas de sedimentación aluvial con topografía plano ondulada))	33
Bosque Tropical Lluvioso de Bajura (Sobre formas de sedimentación aluvial con topografía moderada)	36
Bosques Semideciduos	7

Anexo 16. Estadísticas de las distancias entre parches de coberturas naturales en la zona de amortiguamiento del modelo de red logarítmica²⁶

Estimadores	Valor
Promedio	19,83
Error standard	1,89
Limite inferior (95% confianza)	16,11
Limite superior (95% confianza)	23,54
Valor minimo	0
Primer cuantil	0
Segundo cuantil	0
Tercer cuantil	0
Rango	2.519,15
Varianza	11.956,96
Desviación estándar	109,34
Número de parches totales	3.335
Número de parches bosque	544

²⁶ Las distancias entre parches de coberturas naturales fueron calculadas en formato vectorial a través de la extensión *proximity analysis*, en el programa Arcview 3.3 y sus estadísticas fueron estimadas en el mismo programa con la extensión *statistics and probability distributions*

Anexo 17. Estadísticas de las métricas de proximidad, contagio y dispersión de los parches por tipo de uso de la tierra en los tres escenarios estudiados.

Uso	Año	Promedio de Distancia al vecino más cercano (m)	Índice de agregación	Índice de proximidad media
Bosques	1987	399,75	50,00	8.124,11
	1997	377,05	39,85	10.063,49
	2003	338,89	51,60	14.254,34
Manglares y otros humedales	1987	1.024,78	39,00	3.220,19
	1997	1.193,42	60,66	234,29
	2003	810,49	57,32	1.419,72
Charrales, tacotales y plantaciones	1987	293,92	40,66	1.729,00
	1997	332,15	40,90	509,88
	2003	227,95	48,48	5.943,98
Café	1987	289,30	52,13	17.346,23
	1997	1.246,33	50,25	12.891,05
	2003	524,00	40,35	13.444,29
Palma de aceite	1987	1.863,48	50,79	15,71
	1997	476,98	64,25	878,23
	2003	374,55	64,31	1.244,14
Pastos y caña	1987	275,56	57,51	32.152,29
	1997	230,75	60,59	96.163,17
	2003	153,62	60,99	5.488,47
Cultivos intensivos	1987	735,04	51,30	2.395,24
	1997	2.099,05	63,39	1.160,75
	2003	777,15	75,56	1.361,42
Piña	1987	237,29	33,61	262,99
	1997	372,33	49,83	435,23
	2003	1.331,71	45,87	504,97

Anexo 18. Estimación de los cambios por categoría de uso de la tierra tomando en consideración los escenarios de errores de clasificación, para cada período analizado.

Usos de la tierra	Periodo	Cambio (%)			
		Estimación	Error estándar	LI(95%)	LS(95%)
Bosque	87_03	18,00	2,00	13,00	22,00
	87_97	13,00	3,00	8,00	18,00
	97_03	3,00	3,00	-3,00	8,00
Café	87_03	-10,00	1,00	-12,00	-8,00
	87_97	-20,00	1,00	-22,00	-18,00
	97_03	12,00	1,00	9,00	14,00
Charrales	87_03	15,00	4,00	6,00	24,00
	87_97	-43,00	1,00	-45,00	-41,00
	97_03	98,00	9,00	80,00	116,00
Cultivos anuales	87_03	-21,00	0,45	-22,00	-20,00
	87_97	-28,00	0,44	-29,00	-28,00
	97_03	14,00	1,00	13,00	15,00
Manglares y otros humedales	87_03	-3,00	0,14	-4,00	-3,00
	87_97	10,00	3,00	3,00	17,00
	97_03	-12,00	3,00	-18,00	-7,00
Palma	87_03	470,00	1,00	467,00	471,00
	87_97	254,00	13,00	227,00	280,00
	97_03	60,00	6,00	48,00	72,00
Pastos	87_03	-23,00	1,00	-24,00	-22,00
	87_97	12,00	2,00	9,00	16,00
	97_03	-31,00	1,00	-33,00	-29,00
Piña	87_03	102,00	3,00	95,00	109,00
	87_97	51,00	1,00	48,00	53,00
	97_03	34,00	2,00	31,00	37,00

Anexo 19. Estadísticas de las parcelas de café reportadas por el CATIE (2003) para el SIG del ICAFE en la zona de Coto Brus y Pérez Zeledon

Estimadores	ha
Área Promedio	3,31
Error standard	0,069
Limite inferior (95% confianza)	3,17
Limite superior (95% confianza)	3,44
Valor minimo	0,00038
Primer cuantil	0,358
Mediana	1,262
Tercer cuantil	3,523
Rango	189,88
Varianza	43,97
Desviación estándar	6,63
Número de parches totales	9152
Area Total reportada por el ICAFE	30.277,86

Anexo 20. Origen en el año 1987 de las coberturas existentes en el año 2003.

		Año 1987							
Usos de la Tierra (%)	Bosque	Manglares y otros humedales	Charrales, tacotales y plantaciones	Café	Palma	Pastos	Cultivos	Piña	
Año 2003	Bosque	72,2	0,0	12,6	2,1	0,0	13,0	0,1	0,0
	Manglares y otros humedales	0,0	77,3	0,7	0,0	0,4	17,1	2,8	0,0
	Charrales, tacotales y plantaciones	6,1	0,0	35,6	0,4	0,1	55,9	0,7	0,1
	Café	10,1	0,0	15,6	65,8	0,0	8,4	0,0	0,0
	Palma de aceite	0,9	1,1	0,7	0,0	13,9	30,0	49,4	0,0
	Pastos y caña	7,5	0,4	15,9	11,3	0,0	63,1	1,2	0,1
	Cultivos intensivos	0,5	4,0	0,6	0,0	1,9	29,9	58,9	0,0
	Piña	0,0	0,0	16,6	0,0	0,0	36,2	0,0	47,0

Anexo 21. Origen en el año 1997 de las coberturas existentes en el año 2003.

Usos de la Tierra (%)	Año 1997								
	Bosque	Manglares y otros humedales	Charrales, tacotales y plantaciones	Café	Palma	Pastos	Cultivos	Piña	
Bosque	80,22	0,00	5,28	2,13	0,00	12,28	0,01	0,00	
Manglares y otros humedales	0,00	82,47	2,25	0,00	0,29	5,24	8,48	0,00	
Charrales, tacotales y plantaciones	10,20	0,08	28,47	0,45	0,08	59,35	0,29	0,10	
Año 2003 Café	11,25	0,00	6,71	63,01	0,00	19,04	0,00	0,00	
Palma de aceite	0,86	2,46	2,59	0,00	64,06	18,08	8,81	0,00	
Pastos y caña	5,54	0,16	6,76	5,36	0,01	80,46	0,82	0,02	
Cultivos intensivos	0,39	3,57	2,88	0,00	1,81	28,69	59,62	0,00	
Piña	2,15	0,00	3,90	0,15	0,00	17,49	0,36	74,97	

Anexo 22. Origen en el año 1987 de las coberturas existentes en el año 1997.

Usos de la Tierra (%)	Año 1987								
	Bosque	Manglares y otros humedales	Charrales, tacotales y plantaciones	Café	Palma	Pastos	Cultivos	Piña	
Bosque	76,90	0,00	11,50	2,20	0,00	9,40	0,00	0,00	
Manglares y otros humedales	0,00	75,60	0,20	0,00	0,50	8,80	7,70	0,00	
Charrales, tacotales y plantaciones	7,30	0,10	45,70	3,50	0,10	41,40	0,80	0,20	
Año 1997 Café	9,90	0,00	6,40	76,80	0,00	6,90	0,00	0,00	
Palma de aceite	0,20	1,30	0,70	0,00	15,80	24,80	52,80	0,00	
Pastos y caña	7,00	0,40	19,90	6,10	0,20	63,80	1,70	0,10	
Cultivos intensivos	0,00	4,30	0,50	0,00	1,40	21,90	69,40	0,00	
Piña	0,00	0,00	14,20	0,00	0,00	28,00	0,00	57,70	

Anexo 23. Usos de la tierra por unidades de análisis del área de influencia de la Alternativa de red de conectividad 1 entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA.

Segmento	Tipo de uso	Escenarios					
		1987		1997		2003	
		ha	%	ha	%	ha	%
Brusmalis	Bosque	6.394	51,4	6.466	52.0	6.162	49.6
	Pastos y cultivos	1.553	12,5	3.969	32.0	2.752	22.2
	Charrales y tacotales	2.984	24,0	885	7.1	1.955	15.7
	Café	1.430	11,5	956	7.7	1.483	11.9
	Nubes y sombras	70	0,6	155	1.2	79	0.6
Changuena	Bosque	5.251	44,9	4.959	42.4	4.277	36.6
	Pastos y cultivos	2.839	24,3	5.106	43.7	3.310	28.3
	Charrales y tacotales	2.293	19,6	1.324	11.3	2.246	19.2
	Café	1.301	11,2	78	0.7	1.718	14.7
	Nubes y sombras	0	0,0	217	1.9	134	1.2
Coto Brus 2	Bosque	170	7,9	339	15.8	224	10.4
	Pastos y cultivos	1.460	68,0	1.579	73.5	1.142	53.2
	Charrales y tacotales	509	23,7	231	10.7	780	36.3
	Café	8	0,4	0	0.0	0	0.0
	Nubes y sombras	1	0,0	0	0.0	2	0.1
Coto Brus	Bosque	331	14,4	363	15.8	350	15.3
	Pastos y cultivos	1.768	77,1	1.727	75.3	1.638	71.4
	Charrales y tacotales	195	8,5	188	8.2	287	12.5
	Café	0	0,0	15	0.7	19	0.8
	Nubes y sombras	0	0,0	0	0.0	0	0.0
Cotón	Bosque	5.560	59,1	5.302	56.4	4.813	51.2
	Pastos y cultivos	973	10,4	2.087	22.2	2.994	31.8
	Charrales y tacotales	1.278	13,6	753	8.0	556	5.9
	Café	1.591	16,9	1.242	13.2	1.020	10.9
	Nubes y sombras	0	0,0	19	0.2	19	0.2

Usos de la tierra por unidades de análisis del área de influencia de la Alternativa de red de conectividad 1 entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA (Continuación).

Segmento	Tipo de uso	Escenarios					
		1987		1997		2003	
		ha	%	ha	%	ha	%
La Palma	Bosque	1.210	33,3	1.090	30,0	1.187	32,7
	Pastos y cultivos	437	12,0	779	21,4	775	21,3
	Charrales y tacotales	740	20,3	570	15,7	368	10,1
	Café	1.248	34,3	1.196	32,9	1.306	35,9
	Nubes y sombras	2	0,1	2	0,1	1	0,0
Coto Colorado	Bosque	4.508	45,8	5.717	58,0	5.884	59,7
	Infraestructura	55	0,6	30	0,3	31	0,3
	Charrales y tacotales	965	9,8	1.118	11,3	2.031	20,6
	Agua	60	0,6	49	0,5	57	0,6
	Palmas	70	0,7	257	2,6	658	6,7
	Pastos y cultivos	3.708	37,6	2.499	25,4	897	9,1
	Nubes y sombras	485	4,9	182	1,9	293	3,0
Esquinas	Bosque	3.925	49,1	3.802	47,6	3.211	40,2
	Infraestructura	32	0,4	20	0,2	40	0,5
	Charrales y tacotales	339	4,2	943	11,8	2.477	31,0
	Agua	80	1,0	124	1,6	132	1,7
	Palmas	5	0,1	26	0,3	135	1,7
	Pastos y cultivos	3.588	44,9	2.931	36,7	1.233	15,4
	Nubes y sombras	23	0,3	146	1,8	762	9,5
Sabalo	Bosque	722	19,9	743	20,5	679	18,7
	Pastos y cultivos	1.430	39,3	1.836	50,5	1.547	42,5
	Charrales y tacotales	1.080	29,7	659	18,1	477	13,1
	Café	403	11,1	397	10,9	933	25,7
	Nubes y sombras	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Canasta	Bosque	1.744	41,5	1.497	35,6	1.416	33,7
	Pastos y cultivos	1.151	27,4	1.689	40,2	1.688	40,1
	Charrales y tacotales	854	20,3	621	14,8	260	6,2
	Café	440	10,4	379	9,0	822	19,5
	Nubes y sombras	16	0,4	19	0,4	19	0,5

Anexo 24. Caracterización de las unidades de análisis en el área de influencia de la Alternativa de red de conectividad I entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas de ACOSA.

Rangos de las Variables analizadas en el área de estudio

Segmentos	Altitud (msnm)		Pendiente (%)		Distancia a carreteras principales (km)		Densidad de carreteras	Densidad de poblados (pob/km ²)		Crecimiento poblacional (hab/km ²)			Presencia de PSA
	Rango	Media	Rango	Media	Rango	Media	Km/Km ²	Rango	Media	87-97	97-03	87-03	
	Brusmalis	0-1.699	948	1-196	37	0-6,57	2,5	0,93	0-0,25	0,09	2,92	-1,76		1,16	Si
Canasta	290-1.861	871	1-197	24	0-8,51	3,03	3,23	0-0,15	0,04	0,43	0,04	0,03	No
Changuena	0-1.700	861	1-196	37	0-8,74	4,05	1,44	0-0,22	0,07	-0,05	-0,22	-0,02	No
Cotobrus	0-600	400	1-190	18	0-4,31	1,55	2,12	0,06-0,19	0,13	0,14	-0,1	0	No
Coto Brus	0-728	483	1-191	24	0-4,56	2,25	2,45	0,06-0,22	0,12	0,59	-2,68	-2,09	No
Coto Colorado	0-1.660	354	1-200	35	0-5,71	1,82	0,85	0,00-0,08	0,03	0,09	0	0,01	Si
Coton	0-1.899	1088	1-200	27	0-7,05	2,85	1,47	0,00-0,13	0,04	0,05	-0,18	-0,01	No
Esquinas	0-1.636	428	1-200	30	0-6,76	2,18	0,81	0,00-0,11	0,05	0,09	-0,06	0	Si
La Palma	410-1.049	813	1-194	24	0-4,00	1,16	2,21	0,04-0,17	0,1	0,64	-2,26	-2,26	No
Sabalo	0-1.405	710	1-200	20	0-3,68	1,42	3,47	0,01-0,11	0,04	0,60	0,15	0,05	No

