

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES
ESCUELA DE GEOGRAFÍA

**Conservación y manejo integral a través del análisis del uso de la tierra y la fragmentación
boscosa en el Corredor Biológico Pájaro Campana, Pacífico Central, Puntarenas**

Práctica Dirigida para optar por el grado de
Licenciatura en Geografía

Sustentante
Randy Chinchilla Ramos

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

2015

Dedicatoria

*A mi mamá Kattia,
A mi hermana Fiorella,
A mis abuelos Tito (QEPD) y Tita,
A mis tías Lourdes y Noemy
A mis primos y primas,
Gracias por darme siempre su amor y apoyo incondicional.*

To Emily Deitchler.

Agradecimientos

Quiero agradecer a la Universidad de Georgia y a todo su personal por darme su apoyo durante mis estadías en el campus en San Luis.

A todo el personal del Departamento de Recursos Naturales de la CNFL, por brindarme su espacio y tiempo, especialmente a Sergio Feoli, Ana Lorena Vargas y a Édgar Flores, por su ayuda a lo largo de la construcción de la investigación.

A los miembros del Concejo Local de CBPC: el Instituto Monteverde, la Universidad de Georgia, la Fundación Conservacionista Costarricense, la Reserva Bosque Nuboso Santa Elena, la Asociación Conservacionista de Monteverde y la Reserva Biológica Bosque Nuboso Monteverde.

A los miembros del comité asesor: M.Sc. Luis Guillermo Artavia, Dr. Rafael Arce Mesén y M.Sc. Fabricio Camacho por sus constantes y acertadas revisiones.

A los profesores Víctor Cortés, William Zúñiga y Óscar Lücke; a las profesoras Isabel Avendaño y Silvia Meléndez, por ser excelentes profesionales cuyas enseñanzas van más allá de las aulas.

A todos mis compañeros y compañeras de carrera, más que compañeros, ¡son grandes amigos y amigas!

A la comunidad de Monteverde, un lugar verdaderamente mágico.

To all my friends from UGA ¡Thanks y'all!

A todos ellos y ellas, mi sincero agradecimiento.

Tribunal Examinador

Director de Tesis

M.Sc. Luis Guillermo Artavia Rodríguez
Profesor Escuela de Geografía

Miembro del comité asesor

Dr. Rafael Arce Mesén
Profesor Escuela de Geografía

Miembro del comité asesor

M.Sc. Fabricio Camacho Céspedes
Gerente Universidad de Georgia

**Directora o representante
de la Escuela de Geografía**

DEA. Luis Guillermo Brenes Quesada
Profesora Escuela de Geografía

Decano o representante

Dra. Isabel Avendaño Flores
Profesora Escuela de Geografía

Candidato

Bach. Randy Chinchilla Ramos

Resumen

En esta investigación se desarrolló un análisis del paisaje para determinar el uso de la tierra, la fragmentación y conectividad boscosa en el Corredor Biológico Pájaro Campana, Puntarenas, Costa Rica. La metodología consistió en la utilización de los SIG y el análisis multicriterio para levantar el uso actual de la tierra, determinar el nivel de fragmentación boscosa y elaborar una propuesta de conectividad estructural, para asegurar y mantener el movimiento de especies de flora y fauna entre núcleos de bosque nuboso con núcleos de bosque de manglar. En el primer capítulo, se plantearon los aspectos generales del proyecto, donde se definieron los objetivos, el problema, la justificación, antecedentes y marco teórico sobre el cual se desarrollan los contenidos. En el segundo capítulo se desarrolla el marco metodológico que guió la investigación para el cumplimiento de los objetivos. El levantamiento del uso de la tierra se realizó usando técnicas propias de la teledetección; la clasificación supervisada catalogó los usos de la tierra previamente seleccionados. La Evaluación Multicriterio permitió el análisis de variables en forma simultánea, generando un mapa que representa el nivel de conectividad en el área de investigación. Con las herramientas Cost Path y Cost Distance del ArcGIS 10 para elaborar la propuesta de conectividad estructural.

En el tercer capítulo, se realizó una caracterización de variables físicas y socioeconómicas en el CBPC. La caracterización mostró que el área de estudio es un territorio altamente dinámico en sus características físicas y sociales. El capítulo cuarto se centra en el análisis del uso de la tierra, el grado de fragmentación y conectividad del corredor biológico. El análisis del uso de la tierra muestra que la cobertura boscosa representa un 44.81% del área total del corredor. El análisis de la fragmentación arrojó que la cuenca alta es la menos fragmentada, se ubicaron 179 fragmentos de un tamaño promedio de 84,26 ha, mientras que la cuenca baja se encontraron 549 fragmentos con un tamaño de 13.26 ha. El análisis multicriterio estableció zonas con distintos niveles de conectividad, la cuenca alta es la parte del corredor con mayores facilidades para el movimiento de especies de flora y fauna, mientras que en las cuencas medias y bajas se ubican las áreas que presentan dificultad al desplazamiento.

En el quinto capítulo se elaboró una propuesta de conectividad estructural basado en el uso de la tierra y el análisis del nivel de conectividad. Con técnicas de SIG, se calculó la ruta de menor costo al desplazamiento entre núcleos de la cuenca alta y de la cuenca baja, identificando los sitios con potencial para mantener y aumentar la conectividad estructural boscosa. Finalmente en el último capítulo se brindan un conjunto de conclusiones y recomendaciones que podrán ser útiles para el desarrollo de estrategias de conservación en el Corredor Biológico Pájaro Campana. Los resultados de esta investigación permitirán al Concejo Local la toma de decisiones en la administración del Corredor Biológico.

Tabla de contenidos

Capítulo I Aspectos introductorios.....	11
1.1 Introducción	11
1.2 El Corredor Biológico Pájaro Campana (CBPC) como área de estudio	13
1.3 Antecedentes	16
1.4 Delimitación del problema de investigación.....	19
1.5 Justificación de la investigación	20
1.6 Objetivos	22
1.6.1 Objetivo General	22
1.6.2 Objetivos específicos	22
1.7 Marco conceptual	22
1.7.1 Ecología del paisaje: análisis geográfico a escala de paisaje	22
1.7.2 Uso de la tierra y fragmentación a escala de paisaje	24
1.7.3 La conectividad estructural boscosa.....	26
1.7.4 Técnicas SIG y Teledección: Evaluación Multicriterio.....	28
 Capítulo II Marco Metodológico	 31
2.1 Introducción	31
2.2 Caracterización biofísica y socioeconómica del CBPC.....	33
2.3 Procedimiento para el análisis del uso de la tierra, fragmentación y conectividad boscosa mediante técnicas de teledección y SIG	33
2.3.1 Levantamiento del uso de la tierra por medio de una clasificación supervisada	34
2.3.2 Identificación del nivel de conectividad realizando una Evaluación Multicriterio (EMC)..	36
2.3.2.1 Criterios seleccionados para la EMC.....	37
2.3.2.2 Método de las Jerarquías Analíticas de Saaty para establecer los pesos para la EMC .	40
2.3.3 Configuración y cuantificación de la cobertura boscosa para determinar el grado de fragmentación boscosa en el CBPC	44
2.4 Establecimiento de las redes de conectividad entre el bosque nuboso y el bosque de manglar en el CBPC	47
2.4.1 Identificación de las áreas prioritarias o núcleo a conectar	47
2.4.2 Establecimiento de niveles de dificultad para la conectividad	48
2.4.3 Modelización de la propuesta de red de conectividad	48
 Capítulo III Caracterización biofísica y socioeconómica del CBPC	 51
3.1 Introducción	51
3.2 Componentes biofísicos en el CBPC: Diversidad desde la Cordillera de Tilarán al Golfo de Nicoya	51
3.3 Caracterización socioeconómica: Una mezcla de tipos de población	61
3.3.1 La colonización agrícola del CBPC	61
3.3.2 Características de la población	64

Capítulo IV Análisis del uso de la tierra, la fragmentación boscosa y la conectividad en el CB Pájaro Campana	70
4.1 Introducción	70
4.2 El uso de la tierra en el CBPC	70
4.3 Identificación del nivel de conectividad realizando una Evaluación Multicriterio (EMC).....	87
4.4 Cuantificación y configuración del paisaje: la fragmentación boscosa en el CBPC	92
Capítulo V Propuesta de red de conectividad estructural boscosa para el CBPC	97
5.1 Introducción	97
5.2 Identificación de áreas boscosas (núcleos).....	98
5.3 Identificación del costo de desplazamiento (capa de fricción).....	102
5.4 Propuesta de red de conectividad	104
Capítulo VI Conclusiones y recomendaciones.....	112
Conclusiones	112
Recomendaciones	114
Bibliografía	1166

Índice de Cuadros

Cuadro 2.1 Descripción de las coberturas de Uso de la Tierra, CBPC.....	35
Cuadro 2.2 Limitaciones de uso de la tierra según Capacidad de uso, CBPC.....	37
Cuadro 2.3 Rangos según pendientes en porcentaje, CBPB.....	39
Cuadro 2.4 Escala de importancia relativa según el método de Jerarquías Analíticas de Saaty.....	41
Cuadro 2.5 Matriz A según la método de Jerarquías Analíticas de Saaty.....	42
Cuadro 2.6 Consistencia aleatoria según el tamaño de la matriz.....	44
Cuadro 2.7 Descripción de métricas e índices de fragmentación según clase y nivel de análisis.....	45
Cuadro 2.8 Valores de fricción al desplazamiento según tipo de conectividad estructural boscosa.....	48
Cuadro 3.1 Principales características según las Zonas de Vida en el CBPC.....	53
Cuadro 3.2 Pendientes del terreno según extensión en el CBPC.....	57
Cuadro 4.1 Cobertura de Uso de la tierra en el CBPC.....	71
Cuadro 4.2 Matriz A según el método de Jerarquías Analíticas.....	88
Cuadro 4.3 Matriz A´ según el método de Jerarquías Analíticas.....	88
Cuadro 4.4 Matriz W según el método de Jerarquías Analíticas.....	89
Cuadro 4.5 Niveles de conectividad estructural boscosa en el CBPC.....	91
Cuadro 4.6 Métricas e índices de fragmentación por clase y nivel de análisis, CBPC.....	93
Cuadro 5.1 Total de núcleos boscosos conectados por la red de conectividad.....	106

Índice de Figuras

Figura 1.1 Especies de aves representativas del CBPC: El pájaro Campana (<i>Procnias tricarunculata</i>) y el Quetzal (<i>Pharomachrus mocinno</i>).....	15
Figura 1.2 Elementos básicos que conforman un paisaje.....	23
Figura 2.1 Cuenca alta, media y baja de los ríos Aranjuez, Guacimal y Aranjuez.....	32
Figura 2.2 Distribución de puntos GPS para la clasificación supervisada.....	34
Figura 2.3 Diagrama para el establecimiento de redes de conectividad estructural boscosa, CBPC.....	49
Figura 3.1 Primera oleada de cuáqueros, Monteverde.....	63
Figura 3.2 Santa Elena: Centro turístico de Monteverde.....	68
Figura 3.3 Granjas de reproducción de la Corporación PIPASA S.A, Sardinal.....	69
Figura 4.1 Bosque maduro, Reserva Biológica Bosque Nuboso Monteverde.....	73
Figura 4.2 Remanentes boscosos en la cuenca media del CBPC.....	75
Figura 4.3 Bosque de manglar en la desembocadura del río Guacimal.....	77
Figura 4.4 Cobertura herbácea en la cuenca media del CBPC.....	78
Figura 4.5 Cortinas rompevientos de pinos (<i>pinus spp.</i>), cuenca del río Lagarto.....	91
Figura 4.6 Plantación de teca (<i>Tectona grandis</i>), cuenca del río Guacimal.....	93
Figura 4.7 Plantación de piña (<i>Ananas comosus</i>) en Hacienda Chapernal, distrito Pitahaya.....	81
Figura 4.8 Plantación de caña de azúcar en el Ingenio El Palmar, distrito Pitahaya.....	82
Figura 4.9 Salinas y camaronerías en distrito Chomes.....	85
Figura 4.10 Otras coberturas de Uso de la tierra.....	86
Figura 4.11 Proceso de fragmentación en Monteverde.....	94
Figura 4.12 Proceso de fragmentación en Pitahaya.....	95
Figura 5.1 Núcleos de conectividad estructural boscosa en la cuenca alta del CBPC.....	100
Figura 5.2 Núcleos de conectividad estructural boscosa en la cuenca media del CBPC.....	101
Figura 5.3 Núcleos de conectividad estructural boscosa en la cuenca baja del CBPC.....	102
Figura 5.4 Costos de desplazamiento entre dos usos de la tierra diferentes.....	103
Figura 5.5 Red de conectividad estructural boscosa, sector noroeste del CBPC.....	106
Figura 5.6 Red de conectividad estructural boscosa, sector noreste del CBPC.....	107
Figura 5.7 Redes de conectividad estructural boscosa, sector medio del CBPC.....	108
Figura 5.8 Redes de conectividad estructural boscosa, sector bajo del CBPC.....	110

Índice de Gráficos

Gráfico 3.1 Total de población según distritos en el CBPC, 2013.....	64
Gráfico 3.2 Estructura de la población en el CBPC, 2013.....	66
Gráfico 3.3 Años de escolaridad de la población, 2013.....	67
Gráfico 4.1 Producción de caña molida y azúcar según zafras 2008-2013.....	83

Índice de Mapas

Mapa 1.1 Ubicación del Corredor Biológico Pájaro Campana.....	14
Mapa 3.1 Precipitación promedio anual (mm), CBPC.....	52
Mapa 3.2 Zonas de Vida según Holdridge, CBPC.....	54
Mapa 3.3 Pendientes del terreno en porcentaje, CBPC.....	56
Mapa 3.4 Formaciones geológicas en el CBPC.....	59
Mapa 3.5 Densidad de población según distritos, CBPC.....	65
Mapa 4.1 Uso de la tierra en el Corredor Biológico Pájaro Campana.....	72
Mapa 4.2 Nivel de conectividad estructural boscosa, CBPC.....	90
Mapa 5.1 Cobertura boscosa en el CBPC.....	99
Mapa 5.2 Propuesta de conectividad estructural boscosa en el CBPC.....	105

Lista de acrónimos

ACAT: Área de Conservación Arenal Tempisque

ACM: Asociación Conservacionista Monteverde

ACOPAC: Área de Conservación Pacífico Central

CATIE: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

CBM: Corredor Biológico Mesoamericano

CBPC: Corredor Biológico Pájaro Campana

CCT: Centro Científico Tropical

CNFL: Compañía Nacional de Fuerza y Luz

EMC: Evaluación Multicriterio

FCC: Fundación Conservacionista Costarricense

IMV: Instituto Monteverde

PNCB: Programa Nacional de Corredores Biológicos

RBBNM: Reserva Biológica Bosque Nuboso Monteverde

RBNSE: Reserva Bosque Nuboso Santa Elena

SINAC: Sistema Nacional de Áreas de Conservación

UGA: Universidad de Georgia

UGM: Unidad Geoestadística Mínima

Capítulo I Aspectos introductorios

1.1 Introducción

Los seres humanos nos hemos convertido en unos de los principales agentes de cambio en el planeta. El aumento de la población humana genera una presión cada vez mayor sobre los recursos naturales; se estima que el ser humano ha alterado de forma directa entre un tercio y la mitad de la superficie del suelo del planeta (Harvey & Sáenz, 2004).

Cuando se modifica el espacio y el paisaje ocurre una transformación estructural y un desajuste funcional de los ecosistemas intervenidos. La presión antrópica y la deforestación aumentan constantemente, a tal punto que los patrones estructurales más comunes en el paisaje son mosaicos compuestos por asentamientos humanos, terrenos agrícolas y fragmentos dispersos de ecosistemas naturales (Murrieta, 2006).

Una de las principales consecuencias de la deforestación es la fragmentación de bosques (Benavides, 2008). El término fragmentación se suele utilizar para describir cambios que se producen cuando grandes segmentos de vegetación se eliminan por completo, con lo cual quedan numerosos segmentos más pequeños separados unos de otros. La fragmentación del hábitat conlleva invariablemente a su pérdida total a escala de paisaje, implica una disminución en el tamaño de los segmentos remanentes de hábitat y a un mayor aislamiento de hábitats a medida que nuevos usos de la tierra ocupan el ambiente intermedio (Bennett, 2004).

Durante el período 1950-1980, Costa Rica sufrió un proceso dramático de deforestación, pasando de una cobertura forestal del 53% en 1961 a un 31,1% en 1977. Para el año 1983 la cobertura forestal había disminuido a 26,1% aproximadamente; quedando

prácticamente con cobertura boscosa solamente aquellas áreas que se habían declarado bajo alguna categoría de protección (Vega & Vega, 2002).

Aunque las áreas protegidas tienen un papel preponderante en los esfuerzos de conservación, estas por sí solas no podrán preservar la mayoría de la biodiversidad a largo plazo. Las áreas protegidas son y seguirán siendo, demasiado pequeñas, muy aisladas y muy vulnerables a los cambios naturales y antropogénicos (Harvey & Sáenz, 2004).

Es aquí cuando surgen los Corredores Biológicos, que funcionan como una matriz o mosaico de diferentes tipos de uso de la tierra que es capaz de conectar fragmentos de bosque a través del paisaje. La finalidad de los Corredores Biológicos es permitir la dispersión de plantas y animales de un fragmento de bosque a otro, facilitando el flujo de genes y la colonización de sitios adecuados (Canet, 2007).

El Corredor Biológico Mesoamericano define los Corredores Biológicos como espacios geográficos delimitados, generalmente de propiedad privada, cuya función es proporcionar conectividad entre las Áreas Silvestres Protegidas, paisajes, ecosistemas y hábitat naturales o modificados, para hacer posible la migración y dispersión de la flora y fauna silvestre, asegurando la conservación y mantenimiento de la biota y sus hábitat, además de los procesos ecológicos y evolutivos (García, 2002).

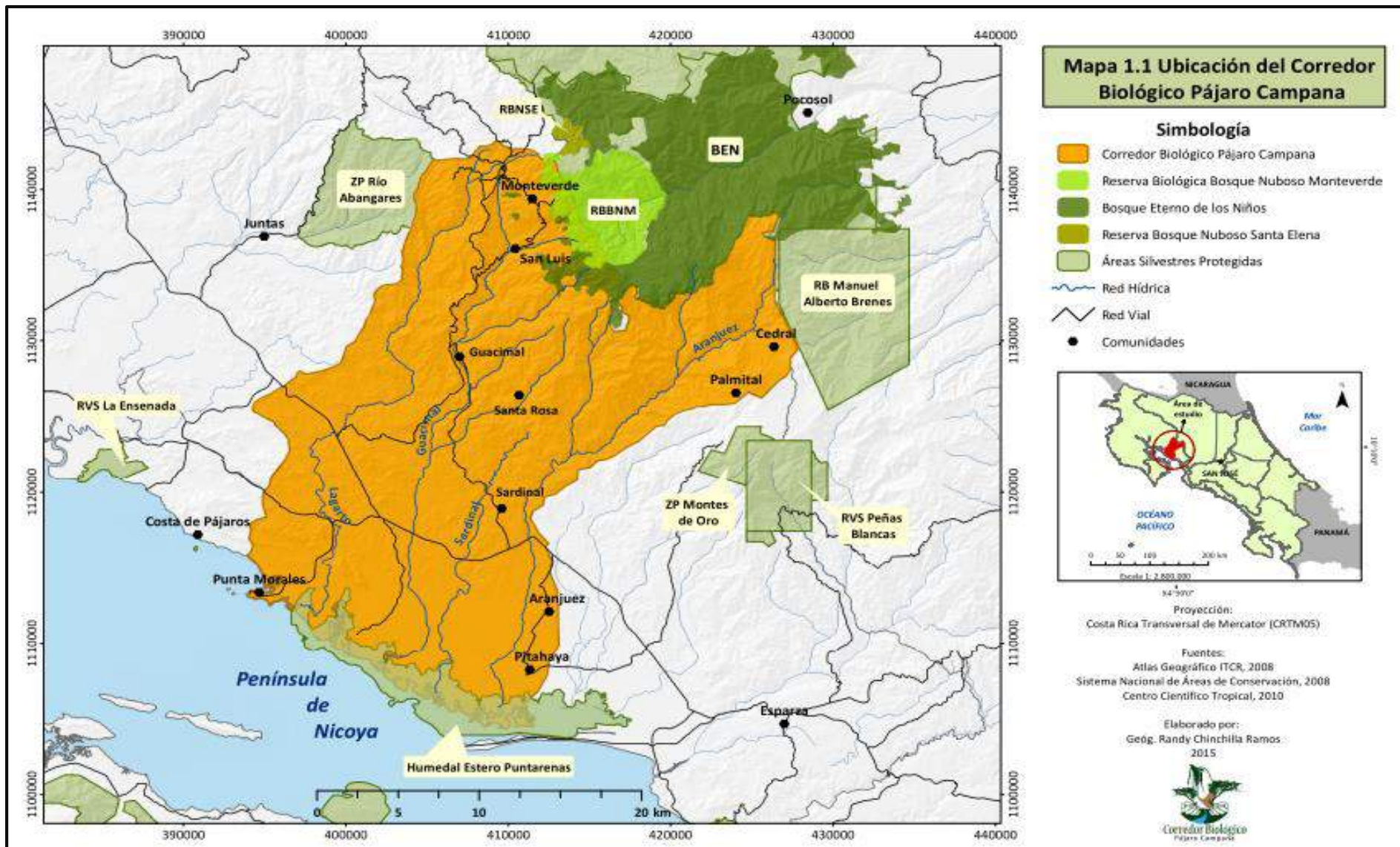
Los Corredores Biológicos estimulan la participación de todos los actores sociales, económicos y ambientales que interactúan dentro de la zona. El éxito radica en su capacidad de integrar diversas iniciativas de conservación y desarrollo, al igual que el grado de compromiso de los actores y el interés e involucramiento por parte de las comunidades interesadas (Canet, 2007).

El Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), en el marco del proyecto del Corredor Biológico Mesoamericano ha venido diseñando e implementando propuestas de conectividad entre corredores biológicos desde hace ya unos diez años (Arias et al, 2008).

El estudio se desarrolla en el Corredor Biológico Pájaro Campana (CBPC) ubicado en la vertiente Pacífica de la Cordillera de Tilarán. La misión de esta iniciativa es restaurar y aumentar la conectividad boscosa entre el bosque nuboso de la parte alta y el bosque de manglar ubicado en la baja. El CBPC se define como un proceso que articula actores y promueve acciones integradas que lleven a restablecer y mantener la conectividad biológica, la conservación de los recursos naturales y el bienestar de las comunidades locales (CBPC, 2010). El objetivo de esta investigación es analizar el uso de la tierra, el grado de fragmentación y conectividad boscosa y así elaborar una propuesta de conectividad estructural boscosa como herramienta de consulta para la toma de decisiones del Concejo Local y cumplir con la misión del corredor, la cual es promover acciones integradas que lleven a restablecer y mantener la conectividad biológica, la conservación de los recursos naturales y el bienestar de las comunidades locales.

1.2 El Corredor Biológico Pájaro Campana (CBPC) como área de estudio

El CBPC es un territorio que se extiende desde la división continental (1830 ms.n.m) de la Cordillera de Tilarán hasta el Golfo de Nicoya. El corredor se encuentra dentro de las cuencas de los ríos Aranjuez, Guacimal y Lagartos, cuyas aguas desembocan a lo largo de 36 kilómetros de costa cubiertas de manglar. Administrativamente, el CBPC se encuentra situado en territorios de los cantones Abangares, Puntarenas y Montes de Oro. La población se concentra en cuatro comunidades importantes: Chomes, Monteverde, Pitahaya y Guacimal (Mapa 1.1).



El CBPC abarca 66.416 hectáreas y se halla rodeado de las siguientes áreas protegidas: al norte la Zona Protectora Río Abangares, la Zona Protectora Arenal Monteverde, la Reserva Biológica Bosque Nuboso Monteverde y la Reserva Biológica Manuel Alberto Brenes, al noreste el Refugio de Vida Silvestre Peñas Blancas y la Zona Protectora Peñas Blancas. Al sur está ubicado el Humedal Nacional Estero Puntarenas.

El CBPC es el único a nivel nacional que potencialmente permitiría conectar el bosque nuboso con el bosque de manglar, facilitando la migración de especies nativas como el pájaro Campana (*Procnias tricarunculata*) y el Quetzal (*Pharomachrus mocinno*) (Figura 1.1).



Figura 1.1 Especies de aves representativas del CBPC: Pájaro Campana (*Procnias tricarunculata*) y el Quetzal (*Pharomachrus mocinno*)

Fuente: Fotografía del autor.

El pájaro Campana es la especie bandera de este corredor, pues durante su migración anual la zona del Corredor resulta ser fundamental. En un estudio que realizaron Hamilton, Molina, Bosques & Powell (2003) se encontró que más del 50% de 151 individuos anillados han sido observados en los años subsiguientes al año 2003.

Al ser un gran dispersor de semillas, el pájaro Campana es muy importante en la dinámica de los bosques y sus hábitats, incluyendo el bosque nuboso, ya que regurgitan las semillas desde sus perchas, ubicadas generalmente en claros del bosque, donde las semillas tienen mucho éxito en la germinación (Hamilton et al, 2003).

El macho juvenil se parece a la hembra en su plumaje pero tiene tres carúnculos cortos, al crecer el macho se diferencia gracias a su plumaje característico blanco y café. El canto puede ser escuchado a más de un kilómetro de distancia. Las hembras son más pequeñas, silenciosas y con un plumaje que les permite camuflarse muy bien en el follaje del bosque (Garrigues & Dean, 2007).

Esta especie se reproduce en setiembre, principalmente entre los 1.200 y 2.300 ms.n.m en la Cordillera de Tilarán, la vertiente del Caribe en la Cordillera Central y las dos laderas de la Cordillera de Talamanca, descendiendo hasta los 900 ms.n.m en la Cordillera de Guanacaste y las montañas más altas de la Península de Nicoya; se dispersa esporádicamente hasta los 3000 ms.n.m o más después de reproducirse, durante la segunda mitad del año baja a los piedemontes y llanuras de las dos vertientes (Stiles & Skutch, 2003).

1.3 Antecedentes

En los últimos años han aumentado las investigaciones acerca del uso de la tierra, la fragmentación boscosa y el diseño de redes de conectividad, en parte porque el concepto de corredor biológico es atractivo como medida práctica que responde en forma directa a los efectos aisladores de la fragmentación de los hábitats (Bennett, 2004).

Afortunadamente, existe una buena cantidad de literatura dedicada al establecimiento de redes de conectividad, al cálculo y análisis de la fragmentación boscosa y al levantamiento

del uso de la tierra mediante la utilización de SIG. Por ejemplo, el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) ha estado desarrollando investigaciones para establecer redes de conectividad en distintas áreas del país, incluyendo corredores biológicos.

Dentro de las investigaciones relacionadas con el uso de imágenes satelitales y técnicas de clasificación, se pueden mencionar la de Rodríguez (2003), el cual realizó una comparación de métodos para la detección de cambio en el uso de la tierra en el Área de Conservación Cordillera Volcánica Central (ACCVC).

Para efectos del presente estudio, el autor utiliza el método de análisis post-clasificación, que resulta de comparar dos imágenes, clasificadas previamente, para obtener un mapa de cambios y el método de la diferencia, que se aplica a través de álgebra de imágenes, restando a una imagen los valores de la otra (Rodríguez, 2003).

Rodríguez (2003) llega a la conclusión de que el método de post-clasificación produce categorías mejor definidas y más continuas, esto por efecto de la categorización que se hace una vez que se clasifica una imagen, donde hay una agregación de muchas áreas a través de las firmas espectrales. Las imágenes resultantes presentan más inconvenientes de pixelación, por ser imágenes menos reclasificadas.

Otro autor que utilizó sensores remotos para determinar el uso de la tierra es Miller (2008). Este autor determinó el cambio de uso de la tierra en el Área de Conservación Osa (ACOSA) y en el Área de Conservación Tempisque (ACT). Efectuó una clasificación supervisada con el software ENVI 4.7 para el ACT, usando seis categorías de uso: bosque natural, potreros, cultivos agrícolas, agua, humedales y otros.

Miller (2008) concluye que los resultados obtenidos de la clasificación del ACT, tienen un alto grado de exactitud y concuerdan en gran medida con la realidad de los tipos de uso encontrados. Señala también que para el trabajo de interpretación de imágenes es necesario poseer una abundante información de campo, que brinde una base real de lo que se podría encontrar en la clasificación (Miller, 2008).

Con respecto al establecimiento de redes de conectividad, el mejor ejemplo situado en nuestro país en cuanto a estudios de fragmentación y conectividad dentro de un Corredor Biológico lo ofrece el CB San Juan-La Selva (CBSS), ubicado al norte de las provincias de Heredia y Alajuela. El propósito de este corredor es restablecer la conectividad ecológica entre el Sureste de Nicaragua y la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica, conectando el Refugio Nacional de Vida Silvestre Barra del Colorado y el Parque Nacional Tortuguero (Villate et al, 2009).

Baltodano & Zamora (2010) realizaron un estudio de conectividad para buscar estrategias de conservación en el “Tapón de Chilamate” dentro del CBSS. Establecieron una red de conectividad estructural basándose en la cuantificación y caracterización de los parches de bosque a conectar así como a la caracterización de la matriz de usos del suelo.

Campos et al. (2008) desarrollaron y aplicaron una metodología para el diseño de una red ecológica de conservación en la zona comprendida entre la Reserva de Biósfera La Amistad y las áreas protegidas del Área de Conservación Osa mediante el método de menor costo-distancia. Se conectaron núcleos de hábitats priorizados a través del análisis multicriterio espacial.

Asimismo Arias et al. (2008) realizaron una propuesta de redes de conectividad estructural para conectar las áreas protegidas del país. Para ello identificaron las áreas protegidas a

conectar y los núcleos de hábitat prioritarios para la conservación que no estuvieran protegidos, después establecieron niveles de dificultad de desplazamiento de las especies silvestres en las áreas intermedias entre las áreas protegidas. Finalmente, modelaron la red de conectividad integrada por los núcleos prioritarios para la conservación a través de rutas de menor dificultad de desplazamiento.

De esta forma, las investigaciones dedicadas al levantamiento y análisis del uso de la tierra y al establecimiento de redes de conectividad a partir de evaluaciones multicriterio y cálculo de menor costo de desplazamiento, ayudan en el conocimiento de la teoría y las distintas metodologías que se han aplicado en diferentes áreas del país, las cuales han tenido bastante éxito y aceptación.

1.4 Delimitación del problema de investigación

La iniciativa para establecer un corredor biológico que conectara el bosque nuboso con el bosque de manglar comienza en 1992 con las recomendaciones que aporta el proyecto GRUAS I. Para 1993 y 1994 la Asociación Conservacionista de Monteverde (ACM) realizó investigaciones biológicas en La Tigra, San Carlos con el fin de desarrollar parámetros para el establecimiento de corredores biológicos. Para 1995, el Centro Científico Tropical (CCT) formula la primera propuesta de Corredor Biológico, que en ese momento comprendía solamente la cuenca del río Guacimal. En el año 2007 se crea un Concejo Local conformado por organizaciones conservacionistas de la zona de Monteverde, el cual es juramentado ante el Área de Conservación Arenal-Tempisque (ACAT) en el 2008 (CBPC, 2010).

Para el 2010 se elabora el Plan Estratégico del CBPC, en el cual se establecen las metas y objetivos en un plazo de cinco años. Uno de los objetivos propuestos en este plan es conocer

el uso de la tierra actual, definir los núcleos boscosos y determinar las áreas de conectividad boscosa.

El problema para efectos de la presente investigación, se define como, la ausencia de estudios de usos de la tierra y nivel de fragmentación boscosa que indiquen la presencia o ausencia de redes de conectividad estructural boscosa, que mantengan la funcionalidad ecológica del paisaje desde el manglar hasta el bosque nuboso, dentro del CB Pájaro Campana.

1.5 Justificación de la investigación

El Programa Nacional de Corredores Biológicos (PNCB) es una estrategia de desarrollo nacional que surge como un producto de la iniciativa Corredor Biológico Mesoamericano (CBM), cuyo objetivo principal es el fortalecimiento de las áreas protegidas y sus espacios de conectividad. El proyecto del Corredor Biológico Pájaro Campana se fundamenta en el marco del CBM y del análisis de vacíos de conservación del proyecto GRUAS I.

El CBPC es un proceso que aglutina a diversos actores que impulsan acciones para la protección de la biodiversidad, la conectividad entre los ecosistemas, el uso racional de los recursos naturales y el desarrollo solidario y equitativo de las comunidades humanas que habitan el CB. Para ello se elaboró un Plan Estratégico en el que se establecen los objetivos y metas para cuatro diferentes programas operativos: biodiversidad, conservación y uso responsable de los recursos naturales, gestión local y educación ambiental y gestión administrativa y coordinación (CBPC, 2010).

Dentro de las acciones estratégicas del programa de biodiversidad, una de las acciones estratégicas es identificar los núcleos de bosque, los vacíos de conservación y sitios de mayor

vulnerabilidad para la biodiversidad y la conectividad en el CBPC. Por este motivo, esta investigación realizará un gran aporte pues, la misma proveerá al Concejo Local con información de línea base que permitirá dirigir los esfuerzos de reforestación y restauración en zonas prioritarias para mantener y/o recuperar la conectividad entre los diferentes tipos de ecosistemas a lo largo del corredor.

Asegurar la conectividad estructural boscosa en el corredor biológico beneficiaría a mantener la alta biodiversidad existente en la zona. Según el Plan Estratégico del CBPC, cerca de 81 especies de mamíferos, 161 especies de reptiles y anfibios y 336 especies de aves (91 de ellas son migrantes de larga distancia), pueden ser encontradas en la Cordillera de Tilarán. Es decir, que en promedio, el 50% de los vertebrados terrestres de Costa Rica estarían representados en el Corredor (CBPC, 2010). Además los ríos Guacimal, Aranjuez y Lagarto y sus afluentes son bienes ecosistémicos que proveen numerosos servicios a la zona y al país, entre ellos agua potable, producción de energía eléctrica y para riego, además aportan nutrientes fundamentales para los manglares del Golfo de Nicoya.

El análisis de información, los resultados y las recomendaciones de este proyecto, serán de gran utilidad para la toma de decisiones de varias instituciones, organizaciones y universidades que conjunta o individualmente trabajan con el Concejo Local del Corredor Biológico Pájaro Campana.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

- Analizar el uso de la tierra, el grado de fragmentación y la conectividad de los bosques en el CB Pájaro Campana.

1.6.2 Objetivos específicos

- Realizar una caracterización general de las condiciones actuales del CB Pájaro Campana, incluyendo las variables biofísicas y socioeconómicas.
- Analizar el uso de la tierra y determinar el grado de fragmentación y conectividad de los bosques dentro del CB Pájaro Campana.
- Establecer redes de conectividad entre los parches boscosos con el fin de propiciar un manejo integral para el CB Pájaro Campana

1.7 Marco conceptual

En esta sección se desarrollarán algunos de los conceptos asociados a la ecología del paisaje, corredores biológicos, fragmentación y conectividad. También se explicarán conceptos relacionados con las técnicas empleadas en Sistemas de Información Geográfica para el levantamiento del uso de la tierra y diseño de las redes de conectividad.

1.7.1 Ecología del paisaje: análisis geográfico a escala de paisaje

El término ecología del paisaje es introducido por Karl Troll en 1939 pues quería combinar dos disciplinas: la Geografía y la Ecología; es decir, relacionar las estructuras espaciales, objeto de la Geografía con los procesos ecológicos (Burel & Baudry, 2002). Esta disciplina hace hincapié en la interacción entre los patrones espaciales y los procesos ecológicos, es decir, las causas y consecuencias de la heterogeneidad espacial a través de una variedad de

escalas (Turner, Gardner & Neill, 2001). La ecología del paisaje, combina esencialmente el enfoque territorial del geógrafo con el funcional del ecologista (Forman & Godron, 1986; Turner et al, 2001).

Como consecuencia, la ecología del paisaje se presenta como una disciplina que intenta obtener una comprensión integral de cada uno de los elementos que conforman el paisaje, sin importar la escala del mismo. Esta disciplina tiene dos aspectos importantes, primero aborda explícitamente la importancia de la configuración espacial de los procesos ecológicos y segundo, se centra en extensiones espaciales que son mucho más grandes que las tradicionalmente estudiadas por la ecología, a menudo, el paisaje visto por un observador humano (Turner et al, 2001).

El paisaje es una porción de territorio heterogéneo compuesto por conjuntos de ecosistemas que interrelacionan y se repiten de forma similar en el espacio y que está compuesto por tres elementos principales: matriz, manchas y corredores (Forman & Godron, 1986). La matriz es el elemento dominante y englobante; adentro se encuentran las manchas (generalmente áreas boscosas) y los corredores o elementos lineales (Figura 1.2).

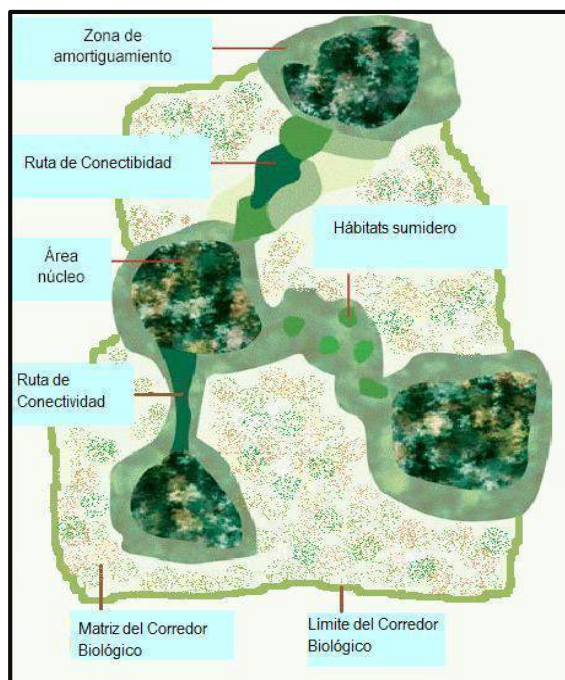


Figura 1.2 Elementos básicos que conforman un paisaje
Fuente: Canet, 2008

1.7.2 Uso de la tierra y fragmentación a escala de paisaje

Para abordar investigaciones relacionadas con conectividad estructural boscosa es fundamental contar con estudios de uso de la tierra actuales, que permitan analizar el patrón paisajístico, la cuantificación y configuración del paisaje estudiado para establecer escenarios que conlleven redes de conectividad.

El uso de la tierra, es un concepto mal utilizado, pues se confunde con el concepto de uso del suelo. La ley de Planificación Urbana (1976), artículo uno estipula que el uso de la tierra “es la utilización de un terreno, de la estructura física asentada o incorporada a él, o de ambos casos, en cuanto a clase, forma o intensidad de su aprovechamiento”.

Por su parte Lücke (1986) en Dengo et al. (1999) afirma que el uso de la tierra comprende el ambiente físico (clima, relieve, suelos, hidrología, vegetación, etc.) y la medida en que estos factores influyen en el potencial de empleo de tierras, así como también las actividades humanas presentes y pasadas, y sus efectos tanto favorables como adversos.

La definición de Lücke se puede relacionar directamente con la que proporcionan Mata & Quevedo (2005) quienes explican que el uso de la tierra es el acondicionamiento y desarrollo de diferentes tipos de zonas terrestres, para una gran variedad de aprovechamientos, como por ejemplo: agricultura, silvicultura, granadera, industria, comercio, urbanismo, transporte, recreación y conservación.

Según Bennett (2004) las actividades humanas han modificado el medio ambiente hasta el punto de que los patrones más comunes en paisajes son mosaicos de asentamientos humanos, terrenos agrícolas y fragmentos dispersos de ecosistemas naturales.

La fragmentación es una de las principales consecuencias de la deforestación (Bennett, 2004) siendo un proceso dinámico que se presenta cuando áreas continuas de bosque son reducidas y divididas en dos o más fragmentos (Benavidez, 2008).

La fragmentación del bosque no se da al azar; según Smith et al. (2001), los patrones espaciales observados pueden ser explicados en función de factores como las condiciones agroecológicas y la accesibilidad de las áreas. También por factores sociales, políticos y económicos que pueden estar asociados a la reducción de área y a la fragmentación del hábitat natural.

Bennett (2004) indica que el proceso de fragmentación tienen tres componentes reconocibles: a) pérdida o destrucción total del hábitat en el paisaje, b) reducción del hábitat y c) aislamiento de los fragmentos de hábitat. El autor hace énfasis en la necesidad de identificar las consecuencias de cada componente por separado para entender totalmente los impactos de la fragmentación y reconocer que están íntimamente relacionados entre sí.

El tradicional enfoque de conservación, a través de la creación de áreas protegidas como unidad de manejo, se ha basado en salvaguardar hábitats particulares, poblaciones específicas de especies amenazadas o en peligro de extinción, o bien, en mantener la mayor diversidad de especies dentro de un área determinada (Ramos, 2004). Pero estas áreas no son suficientes para mantener procesos ecológicos que se desarrollan en regiones más amplias.

Para confrontar la creciente fragmentación del paisaje se ha desarrollado el concepto de corredor biológico. Propuestos por Wilson y Willis en 1975, los corredores biológicos están basados en el supuesto de que los fragmentos unidos o conectados por un corredor de

hábitat adecuado disminuye la tasa de extinción y tienen un mayor valor para la conservación que los hábitats aislados (Canet, 2007).

Un corredor biológico promueve la conectividad, entendida como un atributo funcional del paisaje, que puede ser estimada mediante el análisis de facilidad o impedimento al desplazamiento de los organismos entre los fragmentos del hábitat (Harvey & Sáenz 2008).

Según la Ley de Biodiversidad N° 7788 (1998) los corredores biológicos están integrados por áreas naturales bajo regímenes de administración especial, zonas núcleo, de amortiguamiento, o de usos múltiples; proporcionando espacios de concertación social para promover la inversión en la conservación y uso sostenible de la biodiversidad, en esos territorios.

En Costa Rica, los corredores biológicos se han definido como una extensión territorial, generalmente de propiedad privada, cuya función principal es interconectar áreas silvestres protegidas para hacer posible tanto la migración como la dispersión de especies de flora y fauna silvestre y, de esta forma, asegurar su conservación (Murrieta, 2006).

En el país, existe el Programa Nacional de Corredores Biológicos que constituye un esfuerzo por buscar el fortalecimiento de las áreas protegidas y sus espacios de conectividad (SINAC, 2009) y el Corredor Biológico Pájaro Campana es parte del esfuerzo por manejar de manera integral los paisajes entre dichas áreas protegidas.

1.7.3 La conectividad estructural boscosa

Según Noss (1991) la conectividad implica conexión de hábitats, especies, comunidades y procesos ecológicos a múltiples escalas espaciales y temporales. A escala de paisaje, la

conectividad puede ser definida como el grado en el que el paisaje facilita o impide el movimiento entre parches de recursos (Bennett, 1999).

Es crucial reconocer que un paisaje es percibido de diferente forma por las distintas especies y, asimismo, el nivel de conectividad varía entre las especies y las comunidades (Bennett 2004). Las actividades humanas, en muchos casos, han creado barreras artificiales que impiden la dispersión y movimiento de especies, y en otros, han eliminado las barreras naturales (Noss 1991).

Para una especie, un paisaje con alta conectividad es aquel en el cual sus individuos pueden moverse libremente entre hábitat apropiados, tales como diferentes hábitat requeridos para reproducción, alimentación y refugio. Contrariamente, un paisaje con baja conectividad es aquel en el cual los individuos están severamente restringidos en el movimiento entre estos hábitat (Bennett, 1999).

Existen dos principales componentes que influyen en la conectividad potencial para una especie, comunidad o proceso ecológico: un componente estructural y uno de comportamiento (Bennett, 1999). El componente estructural es determinado por el arreglo espacial de los diferentes tipos de hábitat en el paisaje y está influenciado por factores como: la continuidad de hábitats apropiados, la distancia a ser recorrida de un hábitat a otro y la presencia de vías alternas, como corredores de movimiento, o una red propiamente.

El componente de comportamiento está relacionado al comportamiento de respuesta de los individuos y especies a la estructura física del paisaje, y está influenciado por factores como: la escala a la cual una especie percibe y se mueve dentro del ambiente, sus requerimientos de hábitat y el grado de especialización de hábitat, su tolerancia a disturbios en el hábitat, el escenario de vida (hábitat que requieren para cumplir su ciclo de vida) y el

tiempo requerido para los movimientos de dispersión, y la respuesta de la especie a la depredación y competencia. Consecuentemente, aunque viven en el mismo paisaje, especies con comportamientos de respuestas contrastantes experimentarán diferentes niveles de conectividad (Bennett, 1999).

1.7.4 Técnicas SIG y Teledetección: Evaluación Multicriterio

Los SIG son un conjunto de herramientas, que permiten realizar análisis, cruces de variables y determinar comportamientos o tendencias. La teledetección es una técnica para la adquisición de imágenes, que permite obtener información de la superficie de la Tierra sin tener contacto directo con ésta. Engloba todos los procesos que consisten en captar y guardar la energía electromagnética emitida o reflejada, el tratamiento y análisis de la información, para que inmediatamente sea aplicada (Chuvieco, 2008).

El empleo de herramientas y técnicas provenientes de SIG y la Teledetección permiten un análisis a escala de paisaje o regional (Ramos, 2004). El uso de estos datos no debe limitarse a la elaboración de mapas de cobertura boscosa con sus áreas respectivas y para determinados años. Conviene aprovecharlos más allá de la caracterización; deben aportar información sobre la evolución y la dinámica del recurso (Rodríguez, 2003).

Existen incontables métodos para la detección de los fenómenos que se estudian a través de la teledetección, entre ellas están los métodos de clasificación supervisada y no supervisada. Según Chuvieco (2008), en el método “clasificación supervisada”, el analista identifica muestras bastante homogéneas de la imagen que son representativas de distintos tipos de coberturas. Estas muestras forman un conjunto de datos-prueba. La selección de estos datos-prueba se basa en los conocimientos del analista, su familiaridad con las regiones geográficas y los tipos de superficies presentes en la imagen. El investigador

supervisa la clasificación definiendo las categorías de uso de la tierra y reconociendo las regiones con propiedades similares a cada categoría (Chuvieco, 2008).

En esta investigación se usó el software ENVI 4.7 para analizar el uso de la tierra. Dicho programa utiliza diferentes algoritmos con el fin de determinar la firma numérica de cada una de las clases. Entre ellas están: Paralelepípedo, Distancia mínima, Distancia de Mahalanovis, Máxima Verosimilitud, entre otras.

Para la presente investigación se usó el algoritmo “máxima probabilidad”, uno de los más empleados en la clasificación supervisada que utiliza un modelo probabilístico, comúnmente la distribución gaussiana para formular sus reglas de decisión en la categorización de los píxeles. Este algoritmo asume que las estadísticas para cada categoría en cada banda tienen una distribución normal y calcula la probabilidad de que un píxel dado pertenece a una clase específica. A menos que se seleccione un umbral de probabilidad, todos los píxeles se clasificarán. Cada píxel se asigna a la clase que tiene la mayor probabilidad, es decir, la máxima probabilidad. Si la mayor probabilidad es menor que un umbral especificado, el píxel permanece sin clasificar (Richards, 1999). Ecuación que utiliza clasificación supervisada:

$$g_i(\mathbf{x}) = \ln p(\omega_i) - \frac{1}{2} \ln |\Sigma_i| - \frac{1}{2}(\mathbf{x} - \mathbf{m}_i)^t \Sigma_i^{-1} (\mathbf{x} - \mathbf{m}_i)$$

En dónde:

i = clase

\mathbf{x} = n-dimensionales de datos (donde N es el número de bandas)

$p(\omega_i)$ = probabilidad de que la clase ω_i se produce en la imagen y se asume el mismo para todas las clases

$|\Sigma_i|$ = determinante de la matriz de covarianza de los datos en la clase ω_i

Σ_i^{-1} = la matriz inversa

\mathbf{m}_i = vector de medias

Para el cálculo del uso de la tierra, se deben crear “regiones de interés” (ROI’s) sobre los píxeles de las imágenes satelitales. Los ROI’s, son porciones de imágenes seleccionados ya sea, gráficamente o por otros medios, tales como umbrales (Richards, 1999). Los usos típicos de los ROI’s incluyen extracción de las estadísticas para la clasificación, el enmascaramiento, y otras funciones. El algoritmo tomará la información de dichas regiones y calculará la probabilidad de que las mismas características estén representadas en el área de estudio.

En la metodología utilizada en esta investigación, se identificaron áreas con alta o baja conectividad por medio de la integración de información geográfica en un SIG. Este procedimiento llamado Evaluación Multicriterio (EMC) consiste en un método de consulta para auxiliar a los centros decisores a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos, en base a una evaluación de acuerdo a criterios. Estos criterios pueden representar diferentes aspectos de la teleología: objetivos, metas, valores de referencia, niveles de aspiración o utilidad” (Barredo & Gómez, 2005).

Según Valpreda (2004) la EMC basa su funcionamiento en la evaluación de alternativas, a partir de la definición de criterios (atributo u objetivo que se considera relevante para un determinado problema). Es importante destacar el rol que juega la asignación de valores de las alternativas, la que según los estudios de línea base realizados por parte de cada uno de los especialistas, puede ser evaluada en forma cuantitativa (peso o ponderación), o en forma cualitativa u ordinal.

Capítulo II Marco Metodológico

2.1 Introducción

Para cumplir con los objetivos propuestos en esta investigación, se desarrolló una metodología que permite la obtención de resultados específicos por capítulos. Cada resultado obtenido en un apartado es necesario e indispensable para avanzar en los siguientes; es decir los productos generados al final de cada capítulo se requerirán para el desarrollo del siguiente apartado.

El tercer capítulo consistió en una descripción general de variables socioeconómicas y biofísicas del área de estudio, que permitió obtener un conocimiento de las interrelaciones socioambientales que ocurren en a lo largo del Corredor Biológico.

El cuarto capítulo se desarrolla en tres fases: la primera consistió en el levantamiento y análisis del uso de la tierra mediante imágenes satelitales. En la segunda fase se analizó el nivel de conectividad que presenta el CBPC aplicando una Evaluación Multicriterio (EMC) basado en análisis con SIG y en la última fase se realiza un análisis de la fragmentación de la cobertura boscosa.

El quinto capítulo corresponde a la elaboración de la propuesta de redes de conectividad, mediante el uso de herramientas para el cálculo de la menor ruta de desplazamiento a través de una capa de fricción generada en el capítulo cuarto. Para ello, se identificaron los parches boscosos (núcleos) a conectar y se determinó el costo de desplazamiento según los resultados arrojados de la EMC. El capítulo culmina con el cálculo de las rutas de conectividad estructural boscosa entre los principales parches boscosos de la parte alta y de la parte baja del corredor.

El CBPC es recorrido por tres ríos principales: Lagarto, Guacimal y Aranjuez por lo que el análisis y desarrollo de esta investigación se realizó a nivel de cuenca alta, media y baja. La cuenca baja comienza desde el nivel del mar hasta los 600 m aproximadamente, la cuenca media comienza a partir de los 600 m hasta los 1.200 m y la cuenca alta desde los 1.200 m hasta 1.830 m (Figura 2.1).

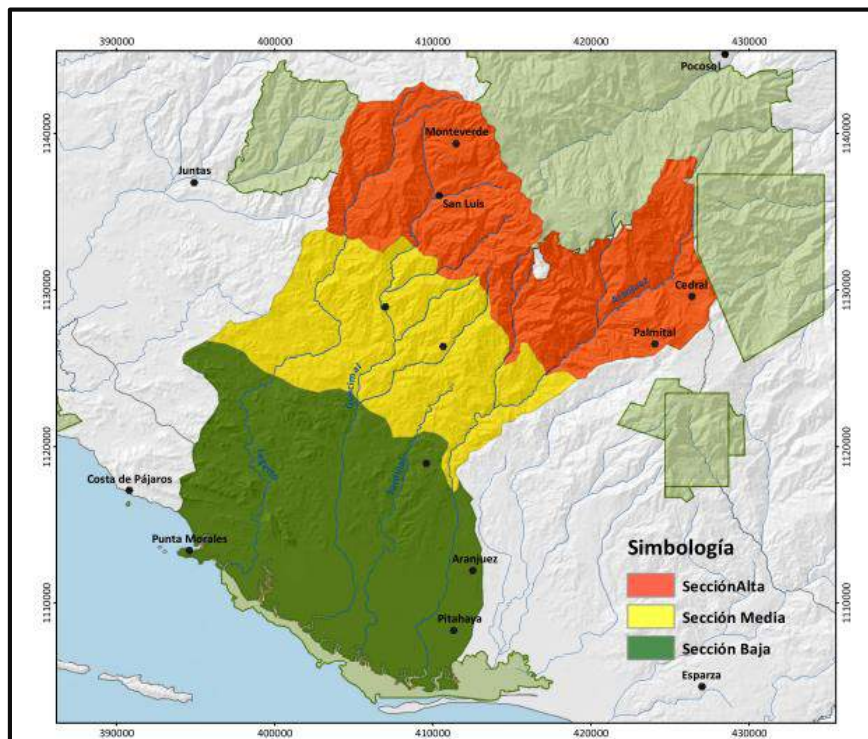


Figura 2.1 Cuenca alta, media y baja de los ríos Aranjuez, Guacimal y Aranjuez.
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, el sexto capítulo corresponde a conclusiones y recomendaciones que se proponen para mantener, restaurar y aumentar la conectividad en aquellas áreas seleccionadas por las redes de conectividad.

2.2 Caracterización biofísica y socioeconómica del CBPC

Para la caracterización biofísica se recurrió a fuentes de información primaria y secundaria. Se obtuvieron valiosos datos de organizaciones que participan y promueven el proyecto del Corredor Biológico Pájaro Campana. Datos sobre climatología, zonas de vida, geología y suelos fueron proporcionados por el Instituto Monteverde, Reserva Biológica Bosque Nuboso Monteverde, Asociación Conservacionista de Monteverde, Universidad de Georgia y Compañía Nacional de Fuerza y Luz.

Para la caracterización socioeconómica se utilizó información del Censo del 2011 proporcionado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). La información fue solicitada a nivel de *Unidades Geoestadísticas Mínimas* (UGM), la cual es definida como la división territorial mínima del país, desarrollada exclusivamente para fines estadísticos. Equivale a lo que comúnmente llamamos manzanas o cuadras y está constituida por grupos de viviendas, edificios, predios, lotes o terrenos (INEC, 2010).

Se realizó una descripción general de la historia de colonización y asentamiento humano para el área, que incluye datos sobre la distribución y estructura de la población, densidad poblacional, nivel de escolaridad y tipos de actividades económicas que desarrolla la población del Corredor.

2.3 Procedimiento para el análisis del uso de la tierra, fragmentación y conectividad boscosa mediante técnicas de teledetección y SIG

El desarrollo metodológico de esta sección se divide en tres fases: la primera constituye el levantamiento del uso de la tierra actual, en la segunda se analiza el nivel de conectividad mediante la EMC y en la tercera se realiza un análisis de fragmentación del paisaje por cuenca alta, media y baja.

2.3.1 Levantamiento del uso de la tierra por medio de una clasificación supervisada

El uso de la tierra se realizó en base a dos imágenes satelitales *Quick Bird* de 2011 ortorrectificadas y georreferenciadas bajo la proyección Costa Rica Transversal de Mercator 2005 (CRTM05). Cada imagen tiene cinco bandas espectrales con una resolución de 5 metros cuadrados, las cuales fueron proporcionadas por la Compañía Nacional de Fuerza y Luz y por la Universidad de Georgia. Las imágenes fueron recortadas utilizando el límite oficial del Corredor propuesto por el SINAC. A este límite se le añadió un área de 1.000 metros hacia el exterior del corredor, ya que durante el proceso de clasificación pueden ocurrir errores de precisión en los márgenes del límite.

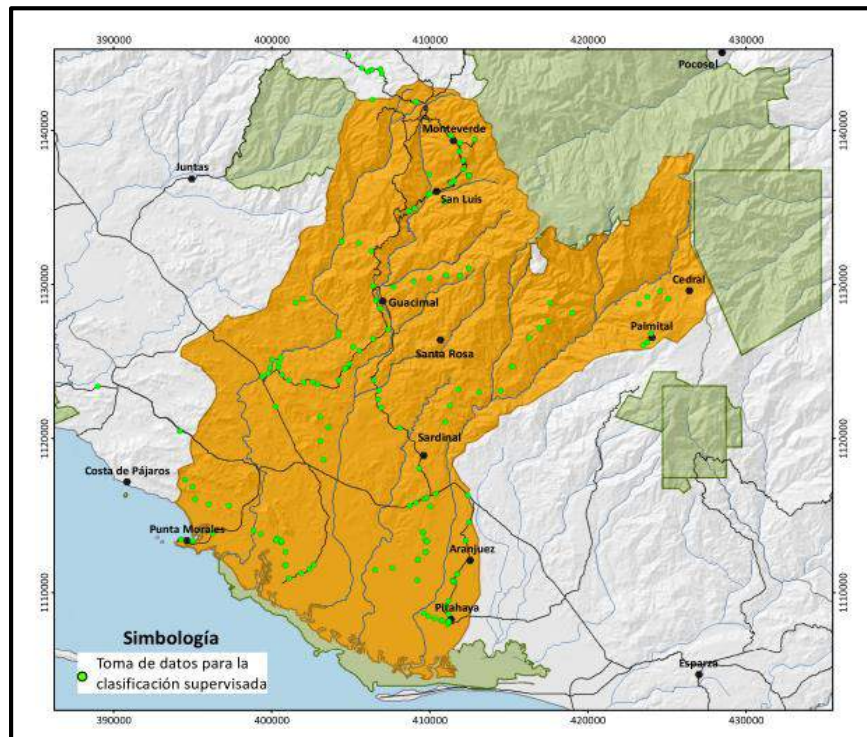


Figura 2.2 Distribución de los puntos GPS para la clasificación supervisada

Fuente: Elaboración propia

Se realizó trabajo de campo, que consistió en el recorrido del área de estudio para recolectar información de las coberturas de uso de la tierra. En total se obtuvieron 154 puntos de GPS,

que se tomaron de las áreas más representativas (Figura 2.2). Posteriormente se procedió a realizar la Clasificación Supervisada, utilizando el algoritmo máxima verosimilitud, el cual asume que las estadísticas para cada categoría en cada banda tienen una distribución normal y calcula la probabilidad de que un píxel dado pertenece a una clase específica. Este método se realizó con el software ENVI 4.7.

Cuadro 2.1 Descripción de las coberturas de Uso de la Tierra en el CBPC

Cobertura	Descripción
Bosque maduro	Cobertura natural y autóctona que no ha sido intervenida o modificada por el ser humano, caracterizada por la presencia de árboles maduros de diferentes edades, especies y porte variado, con uno o más doseles que cubran más del setenta por ciento (70%) de esa superficie y donde existan más de sesenta árboles por hectárea de quince o más centímetros de diámetro medido a la altura del pecho (DAP) Ley Forestal 7575.
Bosque intervenido	Cobertura natural y autóctona que ha sido intervenida o modificada por el ser humano para desarrollar usos agrícolas, ganaderas, infraestructura y servicios. Puede contener árboles maduros de diferentes edades, especies y porte variado.
Pastos	Dominancia de cobertura herbácea
Manglar	Tipo de vegetación que se encuentran en la zona intermareal cercana a las desembocaduras de los cursos de agua dulce, estuarios y zonas costeras.
Plantaciones forestales	Conjunto ordenado de árboles plantados por el productor y con un plan de aprovechamiento forestal con el fin de obtener beneficios económicos por la venta de estos bienes
Cultivos/ Plantaciones	Cobertura vegetal tipo cultivo
Salinas y camaroneras	Áreas dedicadas a la extracción de sal marina y al cultivo de camarones. Es frecuente que durante el verano se utilicen para la extracción de sal y en el invierno para el cultivo de camarones.
Tierras descubiertas	Área y terrenos descubiertos de cualquier tipo de vegetación, llámese tajos, deslizamientos o carreteras de lastre.
Área urbana/ infraestructura	Cualquier tipo de infraestructura, ya sea viviendas, centros urbanos o negocios construidos por la población.
Cuerpos de agua	Se define así a toda área que contenga una tabla de agua en un nivel superficial: ríos, lagos y lagunas.

Fuente: Elaboración propia, basado en la Ley Forestal N° 7575 y en la Ley de Planificación Urbana 4240

Después de realizar las clasificaciones supervisadas para cada imagen, se aplicó un filtro de convolución llamado “mediana” con una matriz de 3x3, el cual tiene como objetivo simplificar la cobertura principal, generando polígonos grandes por uso de la tierra según la mayoría de uso determinado para la imagen analizada.

Para la verificación del producto final en campo, se procedió a realizar un muestreo aleatorio sistemático, usando la *herramienta “Crear puntos de muestreo aleatorio”*. Se determinaron los sitios donde se realizó la comprobación. A estos puntos se les creó un área de 30 metros, para verificar no solo el punto exacto, sino también sus alrededores.

El resultado arrojó 60 puntos que fueron verificados durante aproximadamente 4 días. A parte del procedimiento anterior, también se corroboraron sitios de interés previamente identificados en la parte baja del Corredor, pues es el área más dinámica, cambiante e impredecible, pues son suelos aptos para el desarrollo de actividades agrícolas a gran escala.

2.3.2 Identificación del nivel de conectividad realizando una Evaluación Multicriterio (EMC) con SIG

En la segunda fase del capítulo IV se aplicó una Evaluación Multicriterio con la finalidad de identificar el grado de conectividad estructural boscosa del Corredor Biológico. La EMC incluyó datos biofísicos, sociales y económicos.

Los estudios realizados bajo esta metodología ofrecen la oportunidad de obtener un análisis equilibrado de todas las facetas de los problemas de planificación, particularmente debido a que varios efectos intangibles, como los sociales y las repercusiones ambientales pueden ser considerados de una manera integral, aproximándose en gran medida a la realidad (Araque, 2012).

2.3.2.1 Criterios seleccionados para la EMC

Para la EMC se tomaron en consideración ocho criterios: divergencia de uso de la tierra, vacíos de conservación en la red hídrica, pendientes del terreno (%), uso de la tierra, distancia a ríos, precipitación (mm), protección de nacientes y densidad poblacional.

El primer criterio llamado divergencia de uso de la tierra, se calculó con base en la metodología propuesta por el MAG (1995), la cual establece el conflicto analizando la capacidad que tiene el suelo para soportar diversos usos y comparándolo con el uso actual de la tierra (Cuadro 2.2).

Cuadro 2.2 Limitaciones de uso de la tierra según Capacidad de uso, CBPC

Tipo de clase	Limitaciones
Clase X (Área protegida)	Son áreas que están bajo un régimen de protección y conservación estatal, bajo alguna categoría de manejo dispuesta por el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC).
Clase A (Agrícola)	Son áreas que se determinaron para uso agrícola exclusivamente.
Clase VI	Las tierras ubicadas dentro de esta clase son utilizadas para la producción forestal, así como cultivos permanentes tales como frutales y café, aunque estos últimos requieren prácticas intensivas de manejo y conservación de suelos y aguas. Sin embargo, algunas especies forestales como la Teca (<i>Tectona grandis</i>) y Melina (<i>Gmelina arborea</i>) en plantaciones puras no son adecuadas para las pendientes de esta clase, debido a que aceleran los procesos de erosión de suelos, por lo que se recomienda este tipo de uso sólo en relieves moderadamente ondulados a ondulados.
Clase VII	Las tierras de esta clase tienen severas limitaciones por lo cual sólo se permite el manejo forestal en caso de cobertura boscosa; en aquellos casos en que el uso actual sea diferente al bosque, se procurará la restauración natural por medio de la regeneración forestal.
Clase VIII	Estas tierras no reúnen las condiciones mínimas para actividades de producción agropecuaria o forestal alguna. Las tierras de esta clase tienen utilidad sólo como zonas de preservación de flora y fauna, protección de áreas de recarga acuífera, reserva genética y belleza escénica.

Fuente: MAG, 1995

Según la metodología desarrollada por el MAG (1995), se identifican cinco indicadores en el cruce de la capacidad de uso y el uso actual: tierras bien utilizadas (W); tierras utilizadas dentro de su capacidad de uso, pero que requieren tratamientos especiales de conservación (Wt); tierras subutilizadas (U); tierras sobre utilizadas (O) y tierras gravemente sobre utilizadas (Ot).

La “divergencia de uso” se calculó con la herramienta *Intersect* de ArcGIS 10. El cruce de las bases de datos asociadas a las dos capas de información tomando en cuenta las limitaciones por cada clase y el uso actual, estableció el nivel de divergencia de uso que existe en el CBPC.

El segundo criterio “vacíos de conservación en la red hídrica” se basó en la Ley Forestal N° 7575 (1996), que en su artículo 33 se declara áreas de protección una franja de quince metros medidas horizontalmente a ambos lados, en las riberas de los ríos, quebradas o arroyos, si el terreno es plano, y de cincuenta metros horizontales, si el terreno es quebrado. Basándose en la topografía del Corredor se creó un área de amortiguamiento de 15 metros en pendientes planas a moderadamente onduladas (0-15%) y otra área de amortiguamiento de 50 metros en pendientes onduladas a fuertemente escarpadas (>15%) tal como indica la Ley Forestal 7575.

Se extrajo el uso de la tierra y se reclasificó en dos categorías: “Bosque” y “No bosque”. Las áreas establecidas como “no bosque” fueron identificados como vacíos de conservación, los cuales según la Ley Forestal 7575 (1996) deberían tener cobertura boscosa y que sin embargo, presentan otros usos no forestales, que constituyen un problema para la conectividad estructural boscosa y para el desplazamiento de las especies de fauna.

El tercer criterio correspondió a la “protección de nacientes”, que según la Ley Forestal N° 7575 se declaran como áreas de protección las áreas que bordeen nacientes permanentes,

definidas en un radio de 100 metros medidos de modo horizontal. Basándose en la premisa anterior se procedió a crear un área de amortiguamiento de 100 metros alrededor de cada nacimiento permanente. Del área de amortiguamiento se extrajo el uso de la tierra, reclasificando el uso en “Bosque” y “No bosque”. Al igual que el criterio anterior, las áreas no forestales corresponden a vacíos de conservación y según la Ley Forestal deberían estar cubiertos por vegetación.

El cuarto criterio corresponde a la “distancia a la red hídrica”, se crearon dos áreas de amortiguamiento: una a 15 metros de cada lado de la ribera de los ríos y otra a 50 metros. La “pendiente del terreno” fue el quinto criterio; las pendientes se calcularon en base a las curvas de nivel de las hojas topográficas Chapernal, Golfo, Juntas, San Lorenzo, Miramar y Tilarán, escala 1:50.000 del I.G.N. Usando la herramienta *Topo to raster* se realizó un Modelo de Elevación Digital (DEM por sus siglas en inglés) con un tamaño de celda de 20 metros cuadrados. A partir del DEM y con la herramienta *Slope*, se calcularon las pendientes en porcentaje según la metodología que establece el MAG, 1995 (Cuadro 2.3).

Cuadro 2.3 Rangos según pendientes en porcentaje, CBPC

Rangos	%
Plano o casi plano	0 – 3
Ligeramente ondulado	3 – 8
Moderadamente ondulado	8 – 15
Ondulado	15 – 30
Fuertemente ondulado	30 – 60
Escarpado	60 – 75
Fuertemente escarpado	75 y más

Fuente: MAG, 1995

El sexto criterio fue el “uso de la tierra”. La metodología para el desarrollo de este criterio se encuentra en el apartado 3.2.1 del presente capítulo. Allí se desarrolla ampliamente todos los pasos que llevaron a la obtención de este criterio.

El séptimo criterio, “precipitación promedio anual”, se calculó mediante la información de precipitación de siete estaciones meteorológicas del Instituto Meteorológico Nacional: Las Juntas de Abangares, Monteverde, Puntarenas, Sarmiento, Lagarto, Miramar, Cedral de Montes de Oro y San Miguel de Barranca. La información de estas estaciones sirvió como complemento a la información del Atlas Geográfico del ITCR, 2008.

Finalmente, el octavo criterio corresponde la densidad poblacional, la cual se calculó con base en el Censo de Población del 2011 según distrito del INEC.

Con los criterios anteriormente descritos se estableció el nivel de conectividad que presenta el corredor. A continuación se desarrolla la metodología para establecer los “pesos”, entendiéndose éstos como la importancia relativa que tiene un criterio sobre los demás.

2.3.2.2 Método de las Jerarquías Analíticas de Saaty para establecer los pesos para la EMC

Cada criterio utilizado en la EMC contiene un peso, representado por un número de 0 a 1. Este número representa la importancia que tiene un criterio con respecto a los demás. Como afirma Valpreda (2004), todo proceso de asignación de juicios de valor lleva implícito un elevado porcentaje de subjetividad, por lo que es necesario minimizar el margen de error a partir de técnicas como puede ser, sumatoria lineal ponderada, índice de concordancia, análisis de punto ideal, comparación de pares, etc.

El Método de Jerarquías Analíticas que Thomas Saaty desarrolló en la década de 1970, es un método que proporciona validez estadística a los pesos establecidos para los criterios. Según Barredo & Gómez (2005) este procedimiento parte de establecer una matriz cuadrada en la que el número de filas y columnas ésta definido por el número de criterios a ponderar, así se establece una matriz de comparación entre pares de factores, comparando la importancia de uno sobre cada uno de los demás. Posteriormente se determina el vector principal, el

cual establece los pesos y el vector que proporciona una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre pares de factores.

La primera fase, consistió en la identificación de los criterios de decisión asociados al problema. Se seleccionaron ocho criterios: divergencia de uso de la tierra, vacíos de conservación en la red hídrica, pendientes del terreno (%), uso de la tierra, distancia a ríos, precipitación (mm), protección de nacientes y densidad poblacional.

Se construyó una matriz a partir de la comparación de los diferentes criterios con el propósito de estimar la importancia relativa entre cada uno de ellos. En esta matriz se compararon los ocho criterios asignándoles una calificación. Saaty (1970) propone la siguiente escala de importancia relativa de la cual se obtienen las calificaciones para las siguientes comparaciones (Cuadro 2.4).

Cuadro 2.4 Escala de importancia relativa según el método de Jerarquías Analíticas de Saaty

Intensidad de la importancia	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Dos actividades contribuyen igualmente al objetivo
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio están moderadamente a favor de una actividad sobre la otra
5	Importancia fuerte	La experiencia y el juicio están fuertemente a favor de una actividad sobre la otra
7	Importancia muy fuerte	La experiencia y el juicio están fuertemente favorecida y su dominio ha sido demostrado en la práctica
9	Importancia extrema	Es máxima la importancia de una actividad sobre la otra
2,4,6,8	Valores intermedios entre los dos juicios contiguos	Cuando un término medio es necesario

Fuente: Gómez & Barredo, 2005

En la matriz se asigna en cada celda un juicio de valor que representa la importancia relativa de cada factor en la columna principal con otros de la fila principal. Esta matriz es recíproca, es decir, los valores asignados a ambos lados de la diagonal son inversos (Cuadro 2.5).

Cuadro 2.5 Matriz A según la método de Jerarquías Analíticas de Saaty (1970)

Criterios	Divergen- cia de uso de la tierra	Vacíos de conser- vación	Pendi- ente (%)	Uso de la tierra	Distancia a ríos	Precipita- ción (mm)	Protección de nacientes	Densidad poblacio- nal
Divergencia de uso de la tierra	1	-	-	-	-	-	-	-
Vacíos de conservación en la red hídrica	-	1	-	-	-	-	-	-
Pendiente (%)	-	-	1	-	-	-	-	-
Uso de la tierra	-	-	-	1	-	-	-	-
Distancia a ríos	-	-	-	-	1	-	-	-
Precipitación (mm)	-	-	-	-	-	1	-	-
Nacientes de agua	-	-	-	-	-	-	1	-
Densidad poblacional	-	-	-	-	-	-	-	1

Fuente: Elaboración propia, basado en Gómez & Barredo, 2002.

Se realizó la comparación entre los criterios usando las escalas de 1 a 9, dependiendo de la importancia relativa entre criterios. Estos valores tienen números inversos que indican el efecto contrario, siendo 1/3, 1/5, 1/7 y 1/9 los criterios inversos en la escala de medición. De esta manera se realizó una matriz de comparación de 8x8, para establecer los pesos en la ecuación de la EMC.

Según Gómez & Barredo (2005), el procedimiento para la obtención de pesos o ponderación implica la normalización de las variables con base a uno. Para ello, se dividió cada valor de

las columnas entre la suma de las casillas de cada columna con los datos normalizados. El siguiente proceso fue la obtención de un indicador denominado “vector principal” a partir de la suma de las casillas de cada columna.

Posteriormente se dividieron los valores de cada fila por su respectivo vector para obtener la matriz A'. Finalmente, para obtener la ponderación o pesos finales, se calcula el promedio de las filas de la matriz A', dando como resultado los pesos asignados a cada criterio.

Al ser juicios de valor los pesos conllevan un grado de subjetividad, por lo que el método de Saaty aplica una *prueba de consistencia*. Esta prueba reconoce si el juicio de valor tiene consistencia para aplicar los pesos anteriormente calculados. Para esto se determinó mediante la Razón de Inconsistencia (RI). La ecuación es la siguiente:

$$RI = \frac{IC}{CA}$$

En donde:

IC= Índice de inconsistencia

CA= Consistencia aleatoria

El índice de inconsistencia se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

En donde:

λ_{max} = Es el promedio de la matriz AW dividida entre la matriz W

n= El tamaño de la matriz

Esta ecuación es el grado de incoherencia que se comete al calificar la importancia relativa de los criterios y alternativas de un problema. La RI sirve para evaluar los pesos asignados en el paso anterior. Si el valor de RI es menor a un 10%, se aceptan los valores de la matriz como consistentes.

La consistencia aleatoria (CA), representa el índice de consistencia de una matriz recíproca generada aleatoriamente a partir de una escala de 1 a 9, con juicios de valor recíprocos y diagonal = 1 (Gómez & Barredo, 2005). Saaty elaboró una tabla de valores respecto a matrices que contienen desde una a diez variables de estudio (Cuadro 2.6).

Cuadro 2.6 Consistencia aleatoria según el tamaño de la matriz

Tamaño de la matriz	1x1	2x2	3x3	4x4	5x5	6x6	7x7	8x8	9x9	10x10
Valor aleatorio	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fuente: Gómez & Barredo (2005)

Si la razón de inconsistencia es menor a 0,10 se considera que no hay inconsistencia y los criterios emitidos son válidos para cada criterio. Si es mayor a 0,10 es necesario revisar los juicios de valor emitidos en la matriz A. Una vez establecidos los pesos indicados para cada criterio, se realizó la multiplicación de los mismos. Para ello se utilizó la herramienta “Map calculator” del software ArcGis 10:

$$\text{Nivel de conectividad} = \sum (\text{Divergencia de uso de la tierra } *p) + (\text{Protección de vegetación en la red hídrica } *p) + (\text{Pendientes del terreno } *p) + (\text{Uso de la tierra } *p) + (\text{Distancia a ríos } *p) + (\text{Precipitación } *p) + (\text{Protección de nacientes } *p) + (\text{Densidad poblacional } *p)$$

El archivo final se reclasificó en cinco niveles de conectividad cuyos rangos varían desde muy alta, alta, moderada, baja y muy baja conectividad estructural boscosa.

2.3.3 Configuración y cuantificación de la cobertura boscosa para determinar el grado de fragmentación boscosa en el CBPC

La tercera y última fase del capítulo IV consistió en determinar el grado de fragmentación de la cobertura boscosa en el CBPC. Para ello se calcularon índices y métricas tanto a nivel de paisaje como a nivel de parches boscosos. Los índices abarcaron aspectos de área, forma, cantidad, densidad, tamaño y distancia de los parches boscosos (Cuadro 2.7).

Cuadro 2.7 Descripción de métricas e índices de fragmentación según clase y nivel de análisis

Clase	Nivel de análisis	Índice	Descripción
Área, densidad y borde	Paisaje	Área total absoluta y relativa	Es la extensión total de la cobertura boscosa con respecto al área total. El área total se mide en hectáreas y la relativa en porcentaje
	Parche	Número de parches	Da una indicación del grado de fragmentación, especialmente en una región que en su estado inicial era relativamente homogénea en cuanto al uso de la tierra
	Parche	Tamaño promedio de parches	Indica el tamaño de los parches dividido por la totalidad de los parches
	Parche	Densidad del parche	Indica la cantidad de parches que hay por cada 100 hectáreas
Forma	Paisaje	Índice de parche mayor	Cuantifica el porcentaje de la superficie de una clase o del área de estudio ocupada por el fragmento de mayor tamaño. Es un índice del grado de fragmentación
	Forma	Índice de forma promedio del parche	Es la suma del perímetro (m) dividido por la raíz cuadrada del área (m ²) para cada parche, ajustado por una constante de un círculo estándar.
Aislamiento y proximidad	Parche	Distancia promedio entre parches	Es la distancia promedio que existe entre los centroides de los parches.

Fuente: Basado en McGarigal & Marks, 1994 y Benavides, 2008.

A nivel general los índices y medidas se agruparon en categorías para facilitar el análisis y comparación con estudios efectuados anteriormente, en el campo de la ecología de paisaje (McGarigal & Marks, 1994).

La categoría área absoluta cuantifica la composición del paisaje en relación con la distribución de los diferentes parches en el paisaje. Este índice es muy importante para determinar la utilidad ecológica del paisaje como un sistema. El tamaño del parche, es una de las medidas más importantes para representar la composición del paisaje (Benavidez, 2008).

Las métricas e índices de forma están basados en la relación entre el área y el perímetro. Las medidas de forma cuantifican la configuración de los parches en relación a la complejidad del parche. Su principal significado está relacionado con el efecto de borde del parche (McGarigal & Marks, 1994).

Y la categoría aislamiento y proximidad permite estimar el aislamiento de parches que pertenecen a su misma categoría, información necesaria para estimar el aislamiento de un parche o conjunto de parches que pertenecen a la misma o diferente clase.

Para el análisis de fragmentación, se utilizó el mapa de uso de la tierra (sección 2.3.1). De este se extrajo toda la cobertura boscosa que permita la conectividad estructural boscosa: bosques, bosques intervenidos, plantaciones forestales y manglares.

El análisis de paisaje se realizó en dos escalas de análisis: primero a nivel de corredor como un paisaje total e interrelacionado; segundo, a nivel de cuenca alta, media y baja, en base a la topografía y pendientes del terreno. Para el análisis de la estructura espacial del paisaje se reclasificaron las coberturas de usos de la tierra en bosque y no bosque.

La categoría “bosque” incluyó las categorías bosque, bosque intervenido, manglar y plantaciones forestales; y la categoría “no bosque” corresponden a pastos, cultivos agroforestales, salinas y camaroneras, tierra desnuda, área urbana y agua y sedimentos.

Una vez realizada la reclasificación, se procedió a convertir el archivo en formato *raster* (celdas) con la extensión *Spatial Analyst* de ArcGIS 10. El cálculo de las métricas e índices se realizó con la extensión *Patch Analyst* del software *Fragstats* v.2 (1995) que permite analizar la información espacial en tres niveles jerárquicos: paisaje, clases y parches de bosques

(Benavides, 2008). Para efectos del actual estudio, solamente se enfocará en dos niveles: el paisaje en general y categoría de parches.

Las medidas de aislamiento (distancia promedio) cuantifican la configuración de un paisaje y los índices de proximidad cuantifican el contexto espacial del parche de hábitat en relación con sus vecinos. Para poder realizar una comparación con los datos generados, se calcularon tanto para el corredor, como para la cuenca alta, media y baja. El análisis permitió obtener un panorama del grado de fragmentación tanto a nivel de corredor biológico y por secciones.

2.4 Establecimiento de las redes de conectividad entre el bosque nuboso y el bosque de manglar en el CBPC

La metodología para la modelización de la red de conectividad estructural boscosa se basó en la de Hoctor et al. (1999), que establece tres pasos a seguir: 1) la identificación de las áreas boscosas a conectar (núcleos), 2) el establecimiento de niveles de dificultad para el desplazamiento de las especies en el área de investigación y 3) la modelización de la red de conectividad estructural integrada por los núcleos a través de las rutas de menor dificultad al desplazamiento.

2.4.1 Identificación de las áreas prioritarias o núcleo a conectar

Según Arias et al. (2008) las áreas núcleo se consideran como los remanentes de hábitat que se interconectarán en el diseño de las rutas de conectividad. Como se ha especificado a lo largo de esta investigación, el CBPC busca conectar los bosques nubosos con los bosques de manglar en el litoral. Se identificaron núcleos de bosque mayores a 1 hectárea de área, pues corresponden a la escala mínima según la resolución de las imágenes satelitales.

2.4.2 Establecimiento de niveles de dificultad para la conectividad

Los valores de dificultad o *capa de fricción* corresponden al nivel de conectividad del Corredor Biológico, en la cual se determinaron áreas con diferentes niveles de conectividad (Sección 2.3.2). Se realizó una reclasificación en donde el valor de pixel se asignó de forma inversamente proporcional con una escala logarítmica según su nivel de conectividad (Cuadro 2.8).

Cuadro 2.8 Valores de fricción al desplazamiento según tipo de conectividad estructural boscosa

Conectividad	Interpretación	Valor de Fricción
Muy alta	Muy conveniente	1
Alta	Conveniente	10
Moderada	Poco conveniente	100
Muy leve y leve	No conveniente	1000

Fuente: Basado en Hctor et al. (1999)

De esta forma, en la modelización de la red de conectividad, el modelo trazó las redes por las áreas de menor fricción entre los núcleos de bosque a conectar. Este modelo es la base para determinar la ruta más adecuada para establecer la conectividad entre los núcleos definidos.

2.4.3 Modelización de la propuesta de red de conectividad

Para la modelización de la propuesta de red de conectividad se utilizaron las herramientas “*Cost Distance*” y “*Cost Path*” del software ArcGis 10.22. El modelo generó una superficie de costos, utilizando un punto de origen y un punto de destino a través de los valores de dificultad al movimiento o fricción para cada unidad de área de la matriz. Así, el trazado de las rutas de conectividad se fundamenta sobre una regla general que establece que

cualquier línea necesariamente debe conectar dos núcleos o parches boscosos y que funcionan como dispersión de la biodiversidad (Arias et al, 2008).

Los parches de bosque identificados en la parte alta se establecieron como los puntos de origen y los parches de bosque identificados en la parte baja se establecieron como los puntos de llegada. Por último, se integraron todas las trayectorias de conexión en una sola capa de información (Figura 2.3).

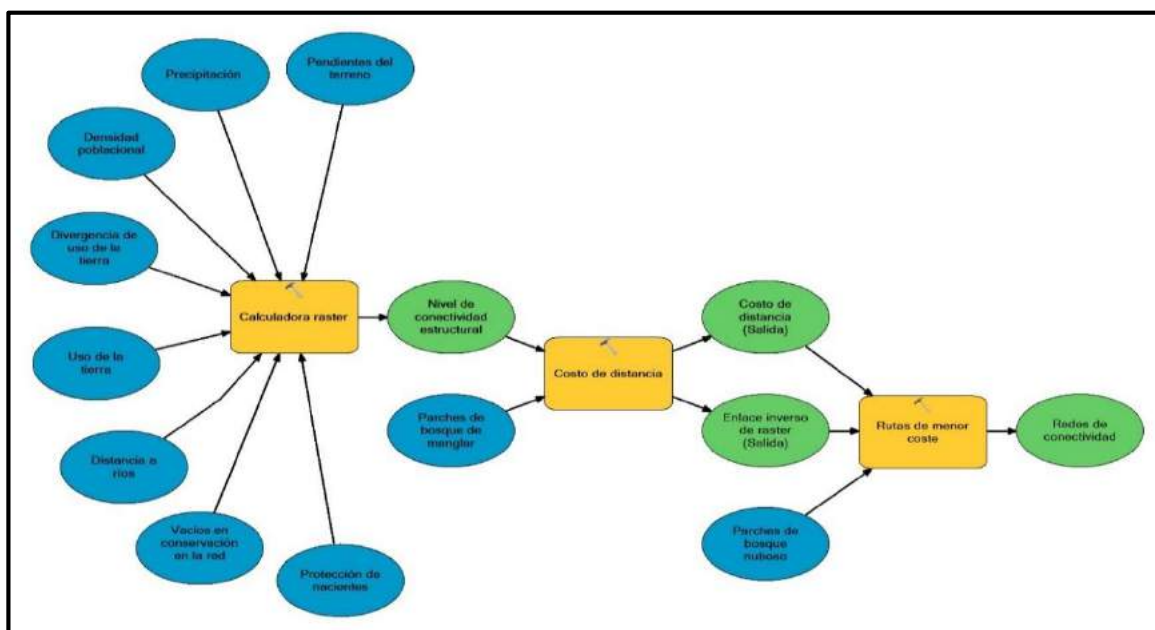


Figura 2.3 Diagrama para el establecimiento de redes de conectividad estructural boscosa, CBPC

Fuente: Elaboración propia

De esta manera, la metodología desarrollada permitió cumplir con los objetivos planteados en esta investigación. La caracterización socioeconómica y biofísica permitió detallar la situación actual del Corredor con la descripción de variables que analizados conjuntamente, permiten entender el uso actual de la tierra y sus actividades económicas que en ellas se desarrollan. Asimismo, el levantamiento del uso de la tierra a través de técnicas de SIG y teledetección permitieron realizar un análisis de fragmentación y conectividad que se utilizaron como los insumos para establecer las redes de conectividad entre el bosque nuboso y el bosque de manglar.

Capítulo III Caracterización biofísica y socioeconómica del CBPC

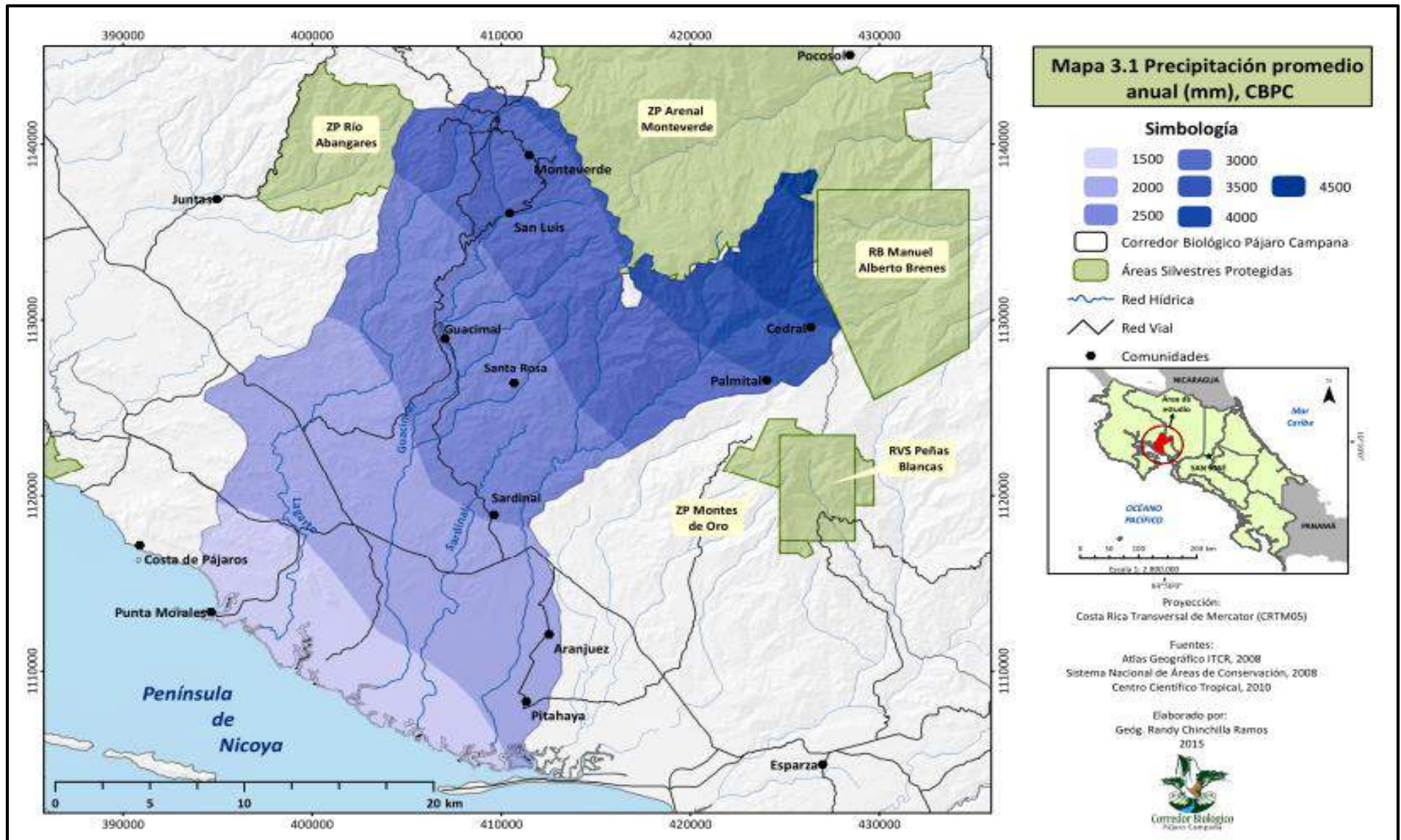
3.1 Introducción

Las investigaciones realizadas desde la Geografía necesitan un conocimiento del entorno socioambiental del área a investigar. Las características físicas, sociales y económicas de una región en particular constituyen un acondicionamiento del desarrollo de actividades económicas que modifican el paisaje.

Realizar la caracterización de una región puede perseguir diferentes motivaciones. Para este caso, el primer motivo es la necesidad de poseer información adecuada y veraz del comportamiento socioeconómico y ambiental. En segunda instancia, porque es el primer paso para posteriormente analizar y comprender el uso de la actual tierra, los procesos de fragmentación que se han dado en el espacio y finalmente para proponer redes de conectividad en el CBPC. La caracterización biofísica comprende aspectos vitales como el clima, las zonas de vida, la topografía, la geología, la geomorfología y los suelos. En el componente socioeconómico se abarcaron variables como la distribución y estructura de la población, densidad poblacional, nivel de escolaridad, tipos de actividades económicas y la colonización del área de investigación.

3.2 Componentes biofísicos en el CBPC: Diversidad desde la Cordillera de Tilarán al Golfo de Nicoya

Debido a la ubicación del Corredor (9° 59' y 10°20' latitud norte y 84° 58' y 84° 39' 30'' longitud oeste) y al rango altitudinal (desde el nivel del mar hasta los 1.830 ms.n.m) las constantes como precipitación y temperatura varían de un lugar a otro (Mapa 3.1). La temperatura oscila entre 18 y 25 °C. El rango de precipitación varía entre 1.500-4.500 mm de



promedio anual, la época seca se extiende de enero a abril y la lluviosa de mayo a diciembre (Welch, 2007).

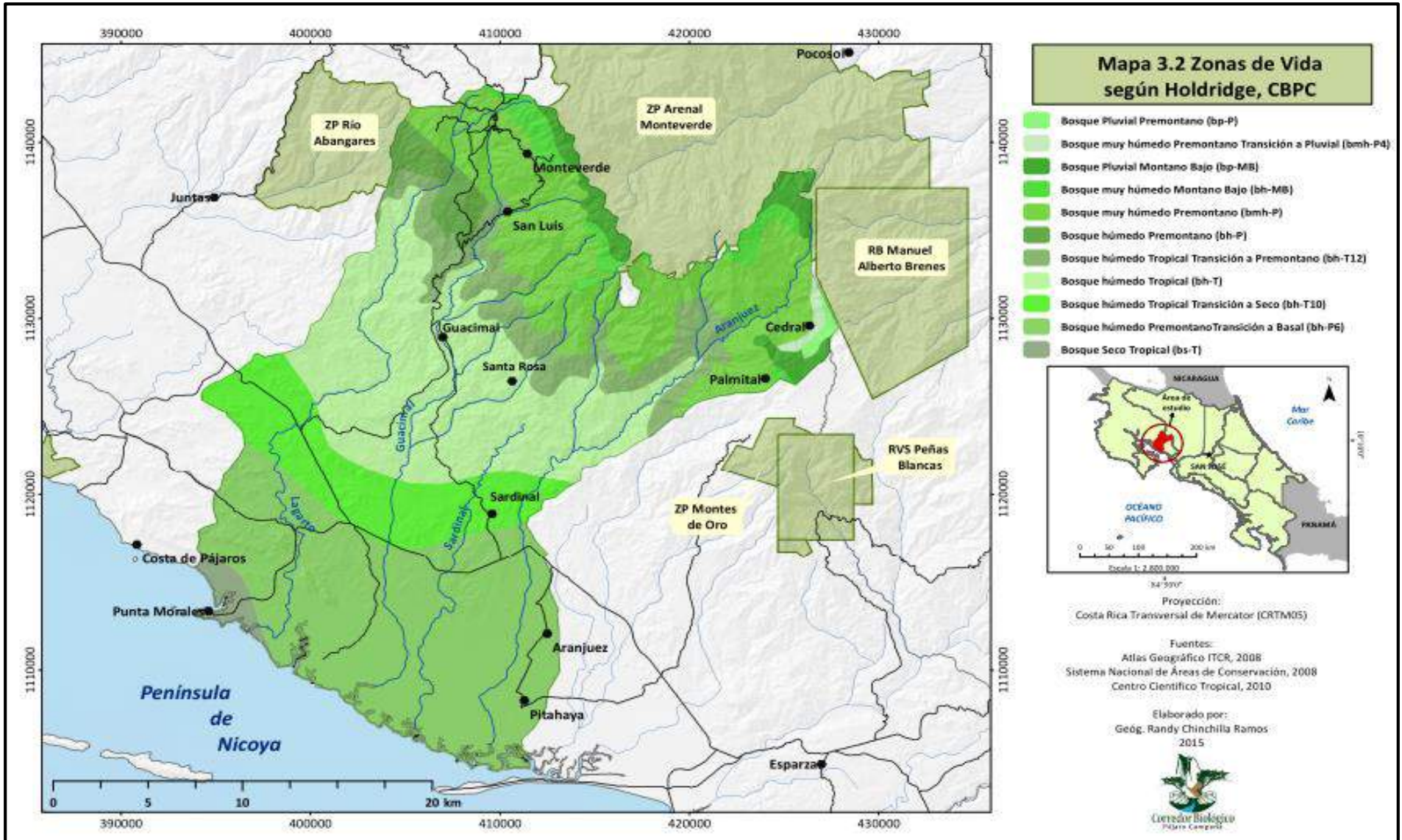
La humedad relativa promedio mensual oscila entre 60 y 65% en los meses secos y entre 80 y 85% en la época lluviosa. En las zonas montañosas y cercanas a las depresiones, la humedad relativa promedio anual tiene un valor cercano al 85%, con un diferencial de solo un 5% entre los meses secos y los húmedos (Welch, 2007).

El tipo de clima influye decisivamente en las zonas de vida de una región. De acuerdo a la clasificación de Holdridge (1967) en el CBPC hay once zonas de vida (Mapa 3.2) cuyas principales biocaracterísticas se detallan en el Cuadro 3.1. El área corresponde a la extensión de cada zona de vida en el territorio del Corredor Biológico.

Cuadro 3.2 Principales características según las Zonas de Vida en el CBPC

Zona	Nombre	Área (ha)	%	Temperatura (°C)	Precipitación anual (mm)
bp-P	Bosque Pluvial Premontano	241,06	0,36	18° - 24°	≥8.000
bmh-P4	Bosque muy húmedo Premontano Transición a Pluvial	264,58	0,4	18° - 24°	≥8.000
bp-MB	Bosque Pluvial Montano Bajo	1.868,91	2,81	12° - 18°	≥8.000
bmh-MB	Bosque muy húmedo Montano Bajo	1.556,74	2,34	12° - 18°	4.000 – 8.000
bmh-P	Bosque muy húmedo Premontano	12.335,70	18,55	18° - 24°	4.000 – 8.000
bh-P	Bosque húmedo Premontano	1.544,18	2,32	18° - 24°	2.000 – 4.000
bh-T12	Bosque húmedo Tropical Transición a Premontano	5.457,51	8,21	24° - 30°	2.000 – 4.000
bh-T	Bosque húmedo Tropical	16.193,20	24,35	24° - 30°	2.000 – 4.000
bh-T10	Bosque húmedo Tropical Transición a Seco	6.910,35	10,39	24° - 30°	2.000 – 4.000
bh-P6	Bosque húmedo Premontano Transición a Basal	19.298,61	29,02	18° - 24°	2.000 – 4.000
bs-T	Bosque Seco Tropical	832,38	1,25	24° - 30°	1.000 – 2.000

Fuente: Altas ITCR, 2008

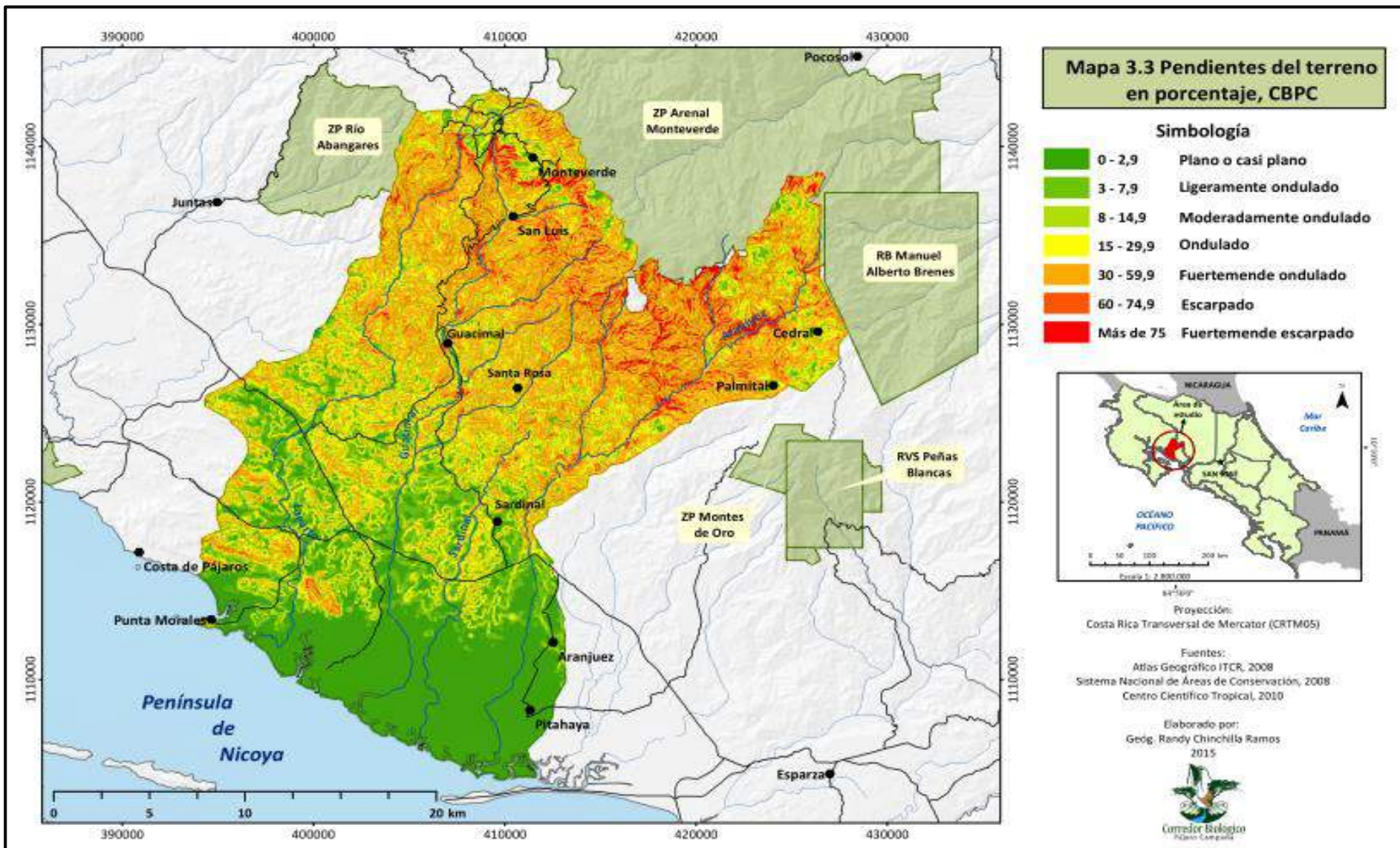


En concordancia con las zonas de vida, se identifica una distribución espacial relacionada con la altitud y el relieve. En la parte baja se encuentra el *Bosque Seco Tropical*, el *Bosque húmedo premontano transición a basal* y el *bosque húmedo tropical transición a seco*, que influyen en gran parte del Corredor Biológico y presentan oscilaciones similares en cuanto a temperatura y precipitación. Mientras que en la parte media se encuentra el *Bosque húmedo Tropical*.

Por su parte, en la cuenca alta (1.200-1.830 ms.n.m) la cantidad de zonas de vida aumenta, aunque abarcan menos áreas que las zonas de vida de las cuencas media y baja. Por la altitud, topografía y ubicación, existen zonas de vida como el *Bosque muy húmedo premontano* o el *bosque muy húmedo montano bajo*. Estas zonas de vida se caracterizan por tener temperaturas inferiores (entre 12-24°) y un aumento del volumen de precipitaciones anuales (desde 4.000-8.000 mm).

Las zonas de vida que abarcan mayor territorio se encuentran en áreas con pendientes planas ($\leq 30\%$). Aquí la variabilidad es menor y las zonas de vida se extienden a mayor territorio, mientras que en las zonas con pendientes mayores a 30% hay mayor variabilidad en las zonas de vida, siendo su extensión considerablemente menor.

Analizando las pendientes (Mapa 3.3), encontramos tres tipos de pendientes: pendientes planas (0-3%), onduladas (15-30%) y fuertemente onduladas (30-60%). Welch (2007) indica que la topografía en el corredor es abrupta, incluyendo terrenos montañosos en la parte alta y media y extensas llanuras en la parte baja. En el cuadro 3.2 se describen las pendientes del terreno según su extensión en el CBPC.



Cuadro 3.3 Pendientes del terreno según extensión en el CBPC

Rango de pendientes (%)	Descripción	Área (Ha)	%
0 – 3	Plano o casi plano	13.966	21,02
3.1 – 8	Ligeramente ondulado	7.292	10,97
8.1 – 13	Moderadamente ondulado	6.724	10,12
15.1 – 30	Ondulado	14.055	21,15
30.1 – 60	Fuertemente ondulado	20.200	30,40
60.1 – 75	Escarpado	3.025	4,55
75.1 y más	Fuertemente Escarpado	1.180	1,78
Total		66.442	100,00

Fuente: Elaboración propia

El CBPC presenta dos tipos de relieve: montañoso y costero. El relieve montañoso caracterizado por su relieve irregular modificado entre otros factores, por la red hídrica. Dichos ríos recorren el Corredor en dirección noreste a suroeste, depositando materiales de diversos tamaños en su camino, hasta desembocar en los manglares de la Península de Nicoya,

Las condiciones geológicas y geomorfológicas están directamente relacionadas con las pendientes y la topografía. Con respecto a las condiciones geológicas se pueden reconocer varias unidades litológicas (Mapa 3.4). Toda la parte superior del CBPC se encuentra en la Cordillera de Tilarán, la cual surgió en el Mioceno Superior (14-7 millones de años), su orientación de Noroeste-Sureste se debe a la convergencia entre la placa Norteamericana y Sudamericana (Villegas, 1997).

Acá se encuentra la Formación Monteverde, constituida por lavas andesíticas hasta andesita-basálticas no alteradas, brechas y tobas y depósitos de lahares (Záček et al, 2012). Entre la Formación Monteverde y el Grupo Aguacate se encuentra el “intrusivo de Guacimal”

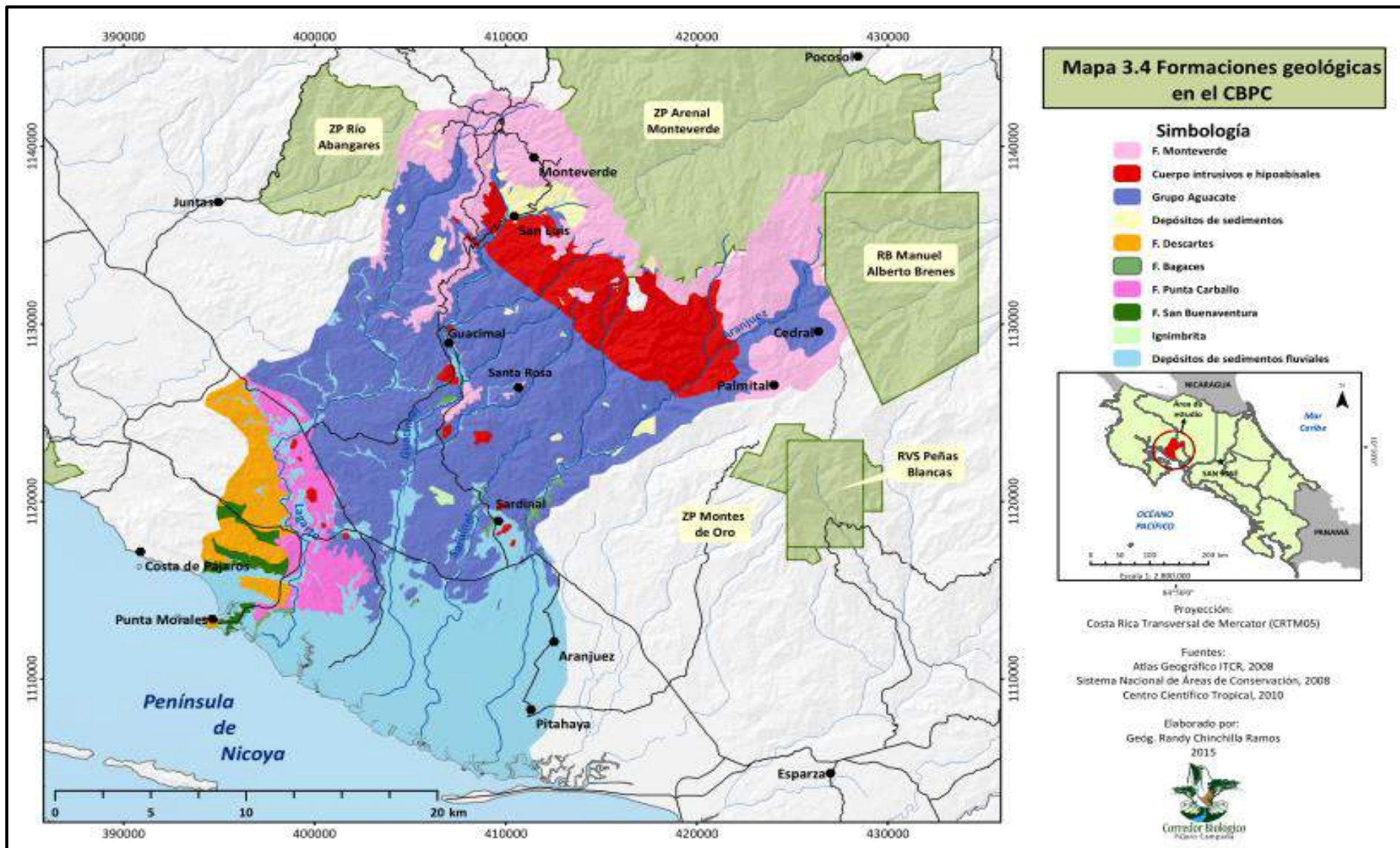
de edad terciaria, producto de los empujes magmáticos del manto, probablemente favorecido por el mecanismo propio de una zona de subducción (Bergoeing, 1982).

En el extremo suroeste del Corredor, la Formación San Buenaventura aflora entre la Formación Descartes y Formación Punta Carballo. Según Flores, Denyer & Aguilar, (2003), son una secuencia de sedimentos clásticos de origen turbidítico que se caracterizan por presentar un alto contenido fosilífero. Está compuesta por unos 400 m de intercalaciones decimétricas a centimétricas de areniscas finas a medias gris verdosa y lutitas grises a negras calcáreas.

La Formación Bagaces, denominada toba gris, aflora en pequeñas áreas localizadas en la parte baja del Corredor. Se compone de tobas tipo ignimbrita, de masa heterogénea, de fragmentos de pómez y líticos, de pobre estratificación y cementados por una matriz vítreo aglutinada (Bolaños, 1984).

Finalmente, en la cuenca baja, los conos de piedemonte se terminan por una pendiente suave, que se confunde con la llanura litoral; llanura formada por una antigua serie de conos deltaicos fósiles colonizados en parte por el actual manglar. En este sector protegido del golfo de Nicoya, el manglar colonizó directamente el sector marino, alimentado por los sedimentos aportados por las corrientes del Golfo de Nicoya y provenientes del río Tempisque, así como por otros ríos que desembocan en dicho golfo (Bergoeing, 1982).

Acá se encuentran los depósitos fluvio-marinos del Cuaternario, los cuales corresponden con los depósitos actuales de interacción marino fluvial, que se forman directamente en la línea de costa y que incluyen marismas, pantanos y manglares. También se pueden encontrar depósitos aluviales que corresponden con rellenos cuaternarios en las zonas cercanas a la



costa, donde los ríos cambian su régimen erosivo y sedimentan parte de su carga, así como algunos depósitos coluviales (Denyer et al, 2005).

Los suelos que se han derivado a partir de las condiciones anteriores pertenecen a cuatro órdenes: alfisoles, ultisoles, inceptisoles y entisoles. Cada uno de estos órdenes de suelos se distribuye de manera irregular por todo el corredor, las diferencias entre un mismo orden que se encuentra distribuido por toda el área radica en aspectos biofísicos como por ejemplo la topografía y la geomorfología.

Los alfisoles se encuentran tanto en la parte alta como en la baja del corredor y se caracterizan por ser suelos que se desarrollan en climas semiáridos y subhúmedos, con un régimen de humedad ústico (Ustalf) y un horizonte de mínimo desarrollo (USDA, 2010). Mientras, los ultisoles se localizan en la cuenca alta del Río Aranjuez y en la parte media y baja del corredor, se caracterizan por ser suelos bien drenados y por poseer un alto contenido de materia orgánica (Humult) especialmente en las tierras altas.

Los inceptisoles se encuentran en el sector más elevado del corredor, en zonas como Monteverde y en las zonas de depósitos de sedimentos en las cuencas de los ríos Guacimal y Aranjuez. En el sector de Monteverde se caracterizan por ser derivados de materiales volcánicos y por tener un horizonte B cámbico, unos pueden tener baja saturación de bases (Dystrantsept) otros tienen presencia de agua (hydrandsept). Por su parte, los inceptisoles de la parte baja se caracterizan por tener un régimen ústico. Por sus características y ubicación permiten una amplia gama de actividades agropecuarias como la caña de azúcar, banano, palma aceitera, ganadería en todas sus formas, etc.

Finalmente, los entisoles los encontramos en la cuenca alta y baja de los ríos Guacimal y Aranjuez. En la parte alta se caracterizan por ser delgados, y por localizarse en superficies

con reciente erosión o en paisajes viejos ausentes de minerales meteorizables, en la parte baja se caracterizan por presentar poco desarrollo de sus horizontes y por tener un régimen húmedo a acuico en el sector del manglar (USDA, 2010).

3.3 Caracterización socioeconómica: Una mezcla de tipos de población

3.3.1 La colonización agrícola del CBPC

Durante la época precolombina, la región Pacífico Central fue ocupada por los cacicazgos de Gurutina y Chomes. Durante la conquista se establecieron varios pueblos encomendados en la jurisdicción de Aranjuez como Patuca, Uruy, Pocoras, entre otros. Para esta época el sector de Chomes fue utilizado como puerto hacia el Pacífico (Sandner, 1962).

Posterior a la época colonial, Costa Rica se caracterizó por desarrollar tres tipos de colonización agrícola. La que tuvo mayor relevancia fue la colonización espontánea de migrantes internos, debido a una serie de eventos sociales y económicos que potenciaron la colonización de áreas aledañas al “Valle Central”; entre los que sobresalen la apertura de la carretera hacia el puerto de Puntarenas (Hall, 1984).

De acuerdo con Hall (1984), durante el siglo XIX, el gobierno costarricense estimuló políticas para la descentralización y la expansión de las áreas dedicadas al cultivo del café desde el Valle Central hacia zonas periféricas. La ruta del nuevo camino que pasaba por Esparta (actual pueblo de Esparza, cantón del mismo nombre) permitió abrir nuevas rutas de colonización agrícola hacia el Pacífico Central y Guanacaste.

En el año 1911 se inaugura una Planta Hidroeléctrica localizada en la comunidad de Guacimal, cantón Puntarenas, por parte de la *Abangares Gold Field Company*. La planta se utilizó para el desarrollo de la minería, especialmente de oro, en cinco minas llamadas La

Sierra, Babilonia, Boston, Tres Hermanos y La Hermanita. La apertura de la planta produjo con el tiempo, un incremento en la población, personas provinieron desde San Ramón y Esparza en busca de formar parte de la fuerza laboral de la planta (Villalobos, 2006).

A inicios del siglo XX, algunas familias provenientes de Guacimal y otros poblados cercanos, se trasladaron a las comunidades de San Luis y Santa Elena de Monteverde. Para 1950 vivían en la región más de 175 familias en subsistencia y comercializaban con los mineros de las zonas de Guacimal y de las Juntas de Abangares (Wheelwright, & Nadkarni, 2014).

La colonización planificada en Costa Rica, se produjo tanto por extranjeros como por nacionales. Se constituyeron tres colonias extranjeras en el país: en Mansión de Nicoya (cubanos), en San Vito de Coto Brus (italianos), en Monteverde (cuáqueros) (Hall, 1984).

La colonia estadounidense de Monteverde comenzó a asentarse en Monteverde, a principios de 1950 con la primera oleada que arribaron desde Alabama, Estados Unidos. Compraron una propiedad de 1214 hectáreas al noreste de Guacimal; en la cual sólo ocuparon 2/3 partes para sus actividades productivas de sobrevivencia (Guindon, Moss & Rockwell, 2001).

En 1970 llega una segunda ola de colonos, esta vez, provenían biólogos interesados en la riqueza natural de la zona, que comenzó a ser objeto de investigación. Entre ellos se encontraba George Powell, quien contribuyó a establecer la Reserva Biológica Bosque Nuboso Monteverde, actualmente administrada por el Centro Científico Tropical (CCT) (Guindon et al, 2001).

En 1968 el Dr. Leslie Holdridge y el Dr. Joseph Tosi, visitaron Monteverde con el fin de realizar un estudio en la zona norte del país. Realizaron recorridos por los bosques primarios que

rodeaban el pueblo. Impresionados por la diversidad biológica de la zona, recomendaron a la comunidad cuáquera que debían conservar todo el bosque posible, esto con el propósito de proteger sus recursos hídricos (Guindon et al, 2001).



Figura 3.3 Primera oleada de cuáqueros, Monteverde

Fuente: Monteverde Jubilee Family Album, 2001.

Es entonces que en 1972, la compañía minera *Guacimal Land Company* donó al CCT 328 hectáreas de lo que sería el inicio de la Reserva Biológica Bosque Nuboso Monteverde. A partir de ese año se incrementó el área de dicha Reserva gracias a donaciones internacionales como la del Fondo Mundial para la Vida Silvestre (WWF).

Actualmente, aparte de la Reserva Biológica Bosque Nuboso Monteverde, existen otras Áreas Silvestres Protegidas que conforman un solo bloque boscoso dedicado a la conservación, protección e investigación, ejemplo: Bosque Eterno de los Niños, Reserva Santa Elena, Refugio Curi Cancha, Bosqueeterno S.A., Reserva San Luis y Zona Protectora Arenal Monteverde.

3.3.2 Características de la población

Según la información de las Unidades Geoestadísticas Mínimas (UGM), la población total del CBPC es de aproximadamente 16.293 habitantes. Los distritos Chomes y Monteverde contienen la mayor cantidad de habitantes con 4.985 y 4.155 respectivamente, constituyendo los centros poblacionales y económicos de mayor extensión dentro del Corredor (Gráfico 3.1).

Aproximadamente, el 56% de la población total viven en los distritos Chomes y Monteverde mientras que el restante 44% se distribuye en los demás distritos. La densidad es de 24,50 habitantes por km², sin embargo esta varía en función a los distritos, por ejemplo Monteverde tiene una densidad de 78 habitantes por km², mientras que el distrito Guacimal tiene una la densidad de apenas 8 habitantes por km² (mapa 3.5).

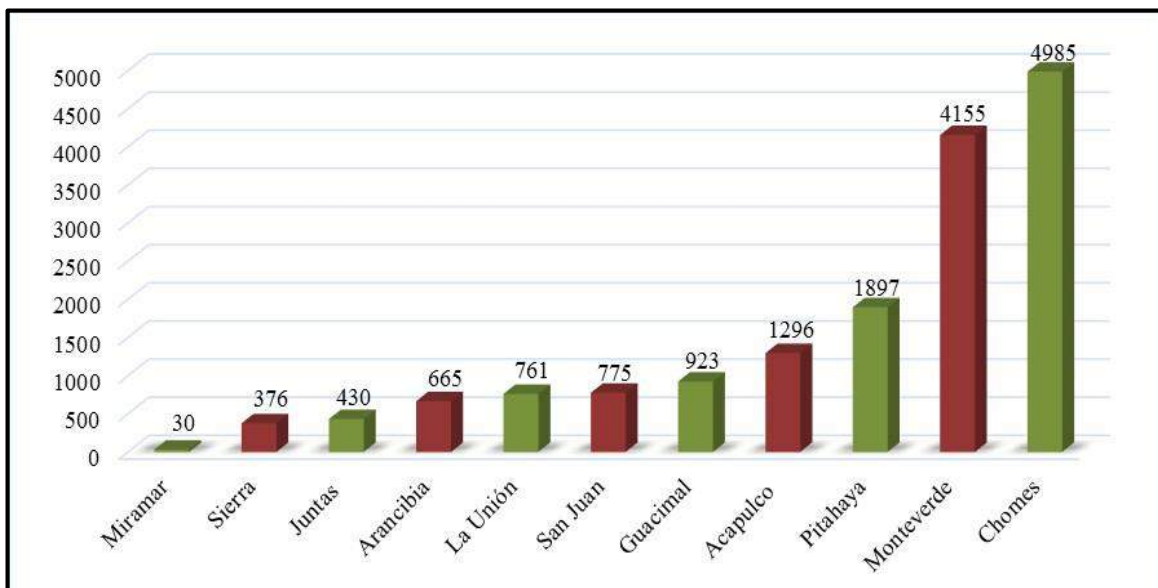
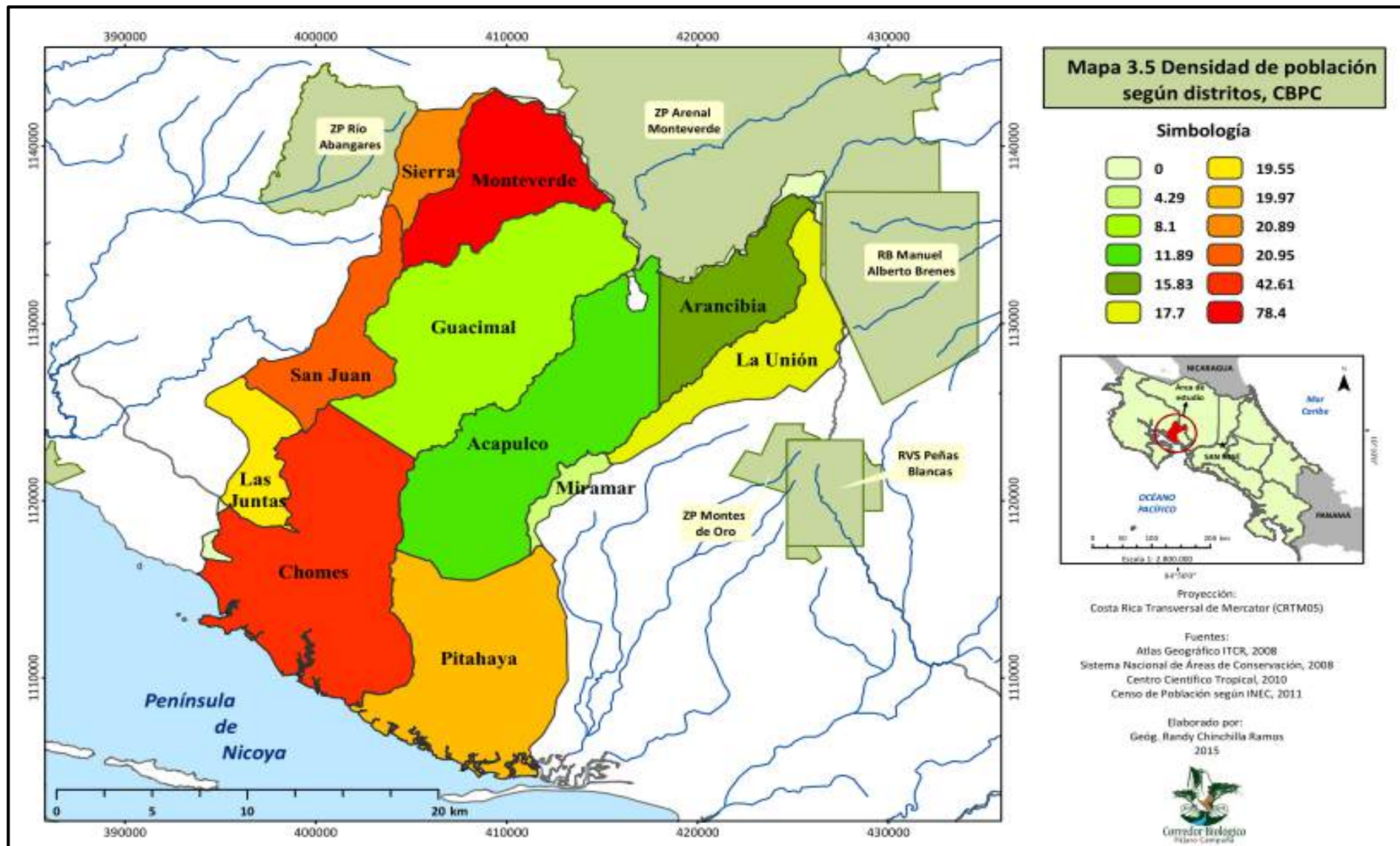


Gráfico 3.1 Total de población según distritos en el CBPC, 2013

Fuente: Elaboración propia a partir de las UGM, 2013

Costa Rica se encuentra entre los países cuya población está envejeciendo su estructura poblacional. Según los indicadores del INEC; en el CBPC el 39% de la población se encuentra



entre los 30-64 años; un 35% está entre 10-29 años, un 17% representa a la población entre 0-9 años y un 7% es adulta mayor de 65 años y más (Gráfico 3.2).

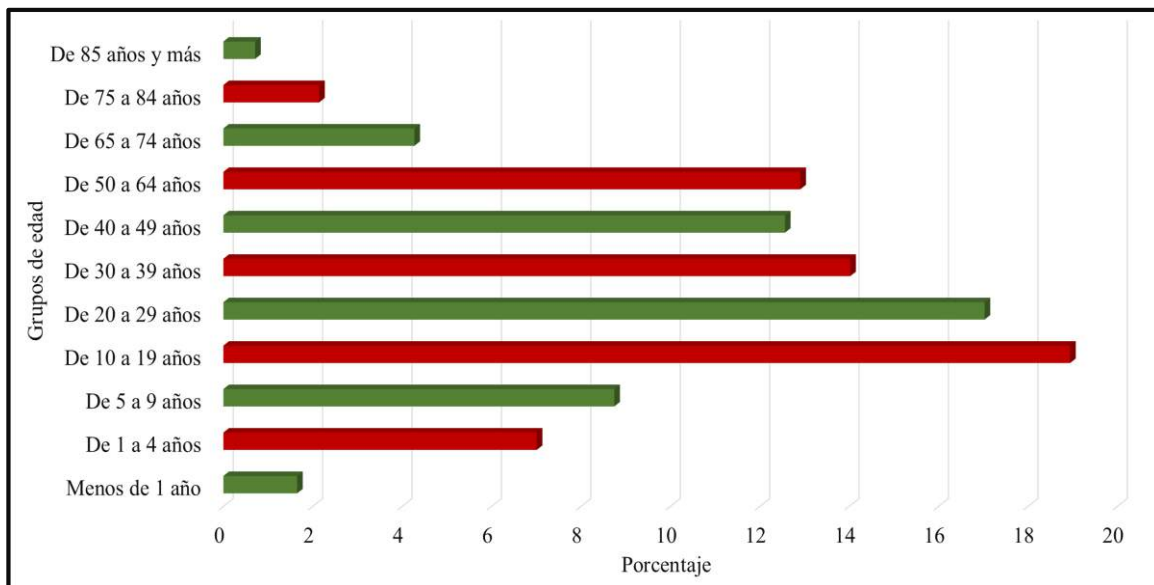


Gráfico 3.2 Estructura de la población en el CBPC, 2013

Fuente: Elaboración propia a partir de las UGM, 2013

Por otra parte, analizando el nivel de educación, de los 16.293 habitantes del Corredor, hay 13.495 habitantes (82,83%) que recibieron entre uno y veinte años de educación. En el gráfico 3.3 se muestra la cantidad de población con respecto a la cantidad de años de escolaridad que contaban al momento de la entrevista.

En el gráfico 3.3 se notan varias situaciones, la más evidente es que hay dos picos que sobresalen del resto de los datos. El primero está ubicado en el sexto año de escolaridad y el segundo en el onceavo año. En el 2011 hubo 4.175 personas con la escuela completa frente a sólo 1.148 con el colegio finalizado; se puede decir que apenas una tercera parte de las personas que continúan la educación después de la escuela, logran terminar el colegio.

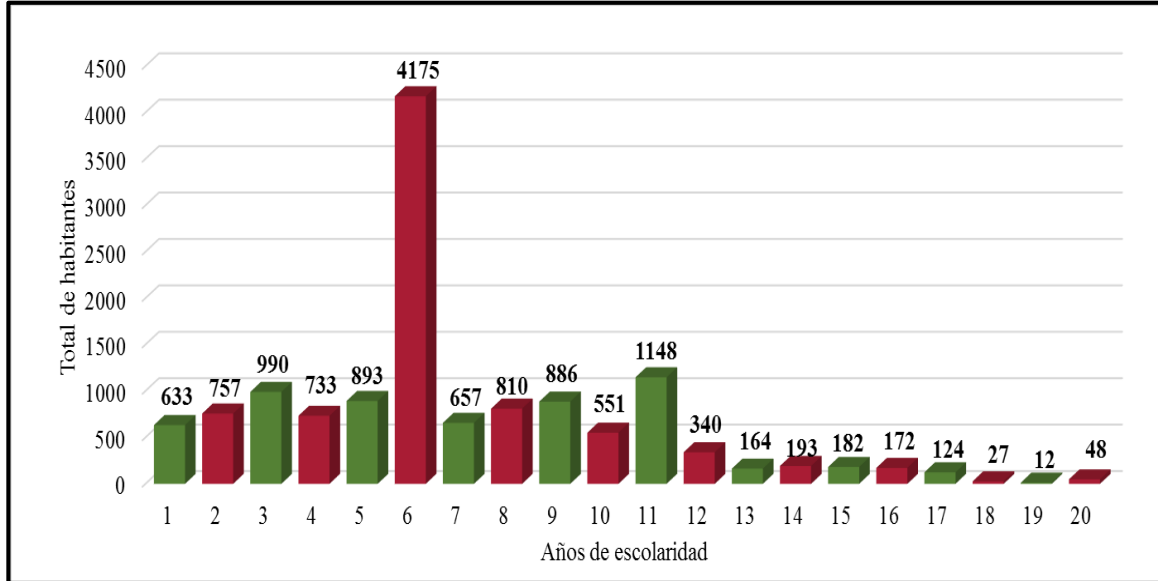


Gráfico 3.3 Años de escolaridad de la población, 2013

Fuente: Elaboración propia a partir de las UGM, 2013

La segunda situación que se nota después del onceavo año de escolaridad es un número muy reducido de estudiantes que opta por continuar sus estudios profesionales o técnicos. En el CBPC hay pocas opciones para continuar estudios más allá de primaria y secundaria, salvo la sede de la UNED en Monteverde, la Estación Nacional de Ciencias Marino-Costeras de la Universidad Nacional ubicada en Punta Morales.

La educación media en la población del CBPC no dista de la realidad de las poblaciones rurales del país. Se encontró que la mayoría de la población, al carecer de niveles altos de escolaridad, se les dificulta conseguir empleos de calidad, obteniendo en muchas ocasiones empleos de baja remuneración, lo que dificulta alcanzar mejores estándares de calidad de vida. La población que puede continuar sus estudios, al tener un título profesional opta por migrar en busca de mejores oportunidades laborales y de crecimiento económico.

Las actividades económicas varían en función del capital humano, social, financiero y natural con que cuentan las regiones para desarrollarse (Piedrahita, 2013). En el CBPC, el 41% de la

población se dedica a actividades terciarias. Según Piedrahita (2013), en la cuenca alta del CBPC prevalecen las actividades terciarias desarrolladas a partir del turismo como fuente de ingresos directos e indirectos. Datos del INEC indican que en la región Monteverde, el 70% de las actividades provienen del sector terciario y el 30% en actividades primarias y secundarias (Figura 3.2).



Figura 3.4 Santa Elena: Centro turístico de Monteverde

Fuente: Fotografía del autor.

En el Corredor un 36% de la población se dedica a actividades agropecuarias (siembra de café, hortalizas, granos), producción de ganadería lechera y de engorde, extracción de minería. Según LAICA (2013) la región Puntarenas produce el 9.44% de la producción nacional de caña de azúcar (5.977 ha).

Finalmente un 23% de la población labora en actividades relacionadas al sector secundario, principalmente al comercio al por menor y a la elaboración de productos alimenticios procesados, tal como la reconocida Fábrica de Quesos Monteverde S.A. que emplea cerca

de 160 empleados o la empresa la Corporación PIPASA S.A. ubicada en la comunidad de Sardinal (Figura 3.3).



Figura 3.3 Granjas de reproducción de la Corporación PIPASA S.A, Sardinal.

Fuente: <http://www.cargill.com.hn/es/noticias/NA3078646.jsp>

Como se puede concluir, en el CBPC existe una gran diversidad de fuerzas biofísicas y socioeconómicas que vienen a determinar el uso de la tierra en el que la población se desenvuelve actualmente. En el siguiente capítulo se determina y analiza el uso de la tierra actual, así como el grado de conectividad y fragmentación que presenta la cobertura boscosa en el CBPC.

Capítulo IV Análisis del uso de la tierra, la fragmentación boscosa y la conectividad en el CB Pájaro Campana

4.1 Introducción

Una vez realizada la caracterización biofísica y socioeconómica del Corredor Biológico Pájaro Campana, el siguiente paso consistió en realizar un análisis del uso de la tierra y del grado de fragmentación y conectividad estructural boscosa, con el propósito de establecer redes de conectividad con las cuales se proponen enlazar el bosque nuboso con el bosque de manglar.

Para el presente capítulo se utilizaron técnicas desarrolladas en el campo de la Teledetección y SIG, que sirvieron para abordar el problema central de esta investigación. Se determina el uso de la tierra mediante una clasificación supervisada utilizando dos imágenes satelitales *Quick Bird* con una resolución de 5x5 metros cuadrados, posteriormente mediante el cálculo de métricas e índices se realiza el análisis del grado de fragmentación y conectividad y finalmente se determinan áreas críticas en conectividad estructural boscosa bajo una Evaluación Multicriterio.

Como resultados, se obtuvieron dos mapas, el primero es del uso de la tierra actual y el segundo es el mapa de áreas críticas de conectividad estructural boscosa, que constituyen los insumos base para desarrollar la propuesta de enlaces de conectividad.

4.2 El uso de la tierra en el CBPC

El CBPC se caracteriza por ser una región con diversidad de usos de la tierra y donde la intensidad de uso varía con respecto a las condiciones topográficas. En el área de estudio se observa una heterogeneidad y diversidad de usos de la tierra (Mapa 4.1).

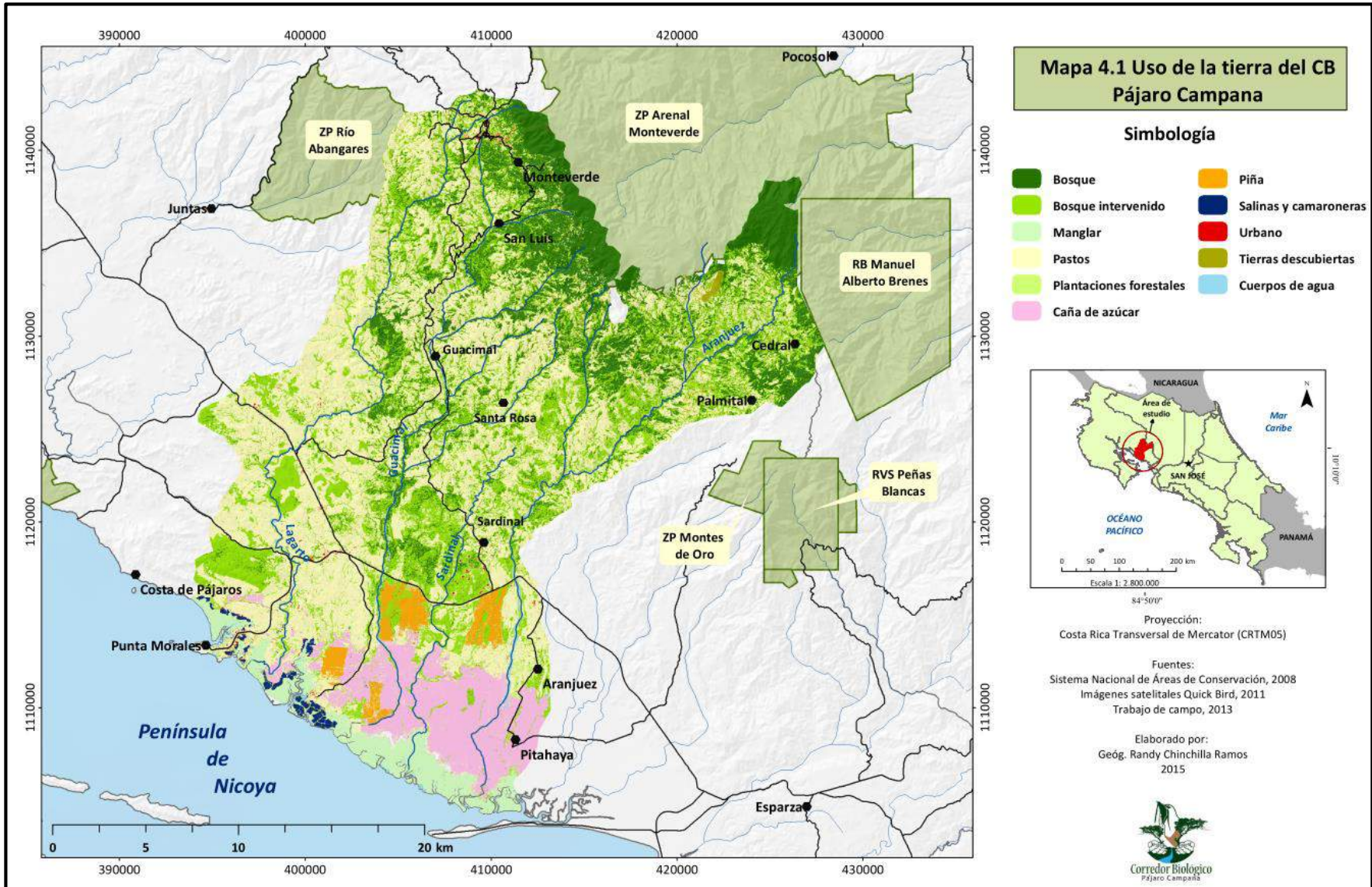
Cuadro 4.1 Cobertura de uso de la tierra en el CBPC

Cobertura	Área (Ha)	%
Pastos	28.437,79	42,77
Bosque intervenido	16.661,42	25,06
Bosque maduro	10.837,51	16,30
Cultivos/plantaciones	5.928,37	8,92
Bosque de manglar	2.367,86	3,56
Tierras descubiertas	1.202,42	1,81
Cuerpos de agua	488,07	0,73
Salinas y camarónicas	311,92	0,47
Área urbana/infraestructura	174,61	0,26
Plantaciones forestales	86,40	0,13
TOTAL	66.496,37	100,00

Fuente: Elaboración propia

La cobertura boscosa total representa 29.866 has del Corredor (44,81%), incluye el bosque intervenido con 16.661,42 (25,06%), el bosque maduro con 10.837,51 (16,30%) y el bosque de manglar con 2.367,86 (3,56%). En términos de conectividad dicho porcentaje de cobertura es un aliciente para efectuar el análisis de redes de conectividad, pues es un porcentaje alto de cobertura. Sin embargo la distribución y la ubicación de los bosques son aspectos que deben ser tomados en cuenta a la hora de realizar el análisis de conectividad.

Las áreas definidas como bosque maduro son todas aquellas coberturas boscosas que han sido conservadas y protegidas bajo distintas categorías de manejo tanto privadas como estatales. Gracias a dicha condición, los bosques se mantienen en buena medida, inalterados, preservando la amplia biodiversidad que caracteriza a la zona.



El éxito del sector turístico en Monteverde gira en torno a la conservación y protección del bosque nuboso y los servicios que provee. Al conservar la biodiversidad y la riqueza natural se eleva el potencial de la zona para posibilitar el desarrollo y consolidación de las comunidades (Acuña, Villalobos & Ruiz, 2000).

En la parte alta del CBPC se agrupan reservas privadas que han logrado mantener bajo regímenes de protección y regeneración áreas con una riqueza natural única en el mundo; tales como la Reserva Biológica Bosque Nuboso Monteverde, la Reserva Bosque Nuboso Santa Elena, el Bosque Eterno de los Niños y Bosqueterno S.A. (Figura 4.1).



Figura 4.1 Bosque maduro, Reserva Biológica Bosque Nuboso Monteverde.

Fuente: Fotografía del autor

La Reserva Biológica Bosque Nuboso Monteverde incluye más de 4.000 hectáreas de bosque de elevación intermedia en la Cordillera de Tilarán, y es considerada un modelo de gestión de área protegida en el ámbito global. Las prioridades principales de la Reserva son la conservación, la investigación, la educación ambiental y el ecoturismo (Wheelwright &

Nadkarni, 2014). Es uno de los principales sitios de visitación de Monteverde; según la Cámara de Turismo Nacional, alrededor de 50.000 turistas la visitan anualmente (CCT, 2005).

El Bosque Eterno de los Niños es la reserva privada más grande del país con más de 22.500 ha de extensión. Es administrada por la ACM, organización sin fines de lucro dedicada a la conservar, preservar y rehabilitar ecosistemas tropicales y su biodiversidad (Wheelwright & Nadkarni, 2014).

Por su parte, la Reserva Bosque Nuboso Santa Elena es administrada por la Junta Administrativa del Colegio Técnico Profesional de Santa Elena y en convenio con el ACAT-MINAE mediante un acuerdo de arrendamiento. Esta Reserva cuenta con 301 hectáreas protegidas y cuenta con una serie de programas ambientales, de investigación y monitoreo.

La herpetofauna de la zona de Monteverde es muy particular. Una lista revisada de anfibios y reptiles incluye 161 especies. Las 60 especies de anfibios incluyen dos cecilias, cinco salamandras y 53 anuros; y los 101 reptiles incluyen 29 lagartijas y 71 serpientes. De la fauna de aves, 91 especies (21%) son migrantes de larga distancia cuya mayoría se reproduce en Norteamérica y pasan por Monteverde durante la migración o pasan el invierno en el área. Cuatro especies como son el elanio tijereta (*Elanoides forficatus*), el mosquero pirata (*Legatus leucophaeus*) y el vireo cabecigrís (*Vireo flavoviridis*), se reproducen en Monteverde y migran a Suramérica durante el período no reproductivo (RBBNM, 2005).

En éstas reservas se han monitoreado y reportado mamíferos como el mono cariblanco (*Cebus capucinus*), el mono congo (*Alouatta palliata*), saínos (*Tayassu tajacu*), venados (*Odocoileus virginianus*) y puma (*Puma concolor*) (Cruz & Guevara, 2011).

El bosque intervenido se refiere a toda aquella cobertura boscosa que de una u otra manera, ha sido modificada y reducida en sus dimensiones para aprovechamiento forestal, agricultura, ganadería o asentamiento humano. Constituyen un aproximado de 16.661 has (25,06%) y se agrupan todo tipo de bosque como por ejemplo bosques de galería o riparios. Se encuentran ubicados en los parches boscosos, las riberas de los ríos y las cimbras de los sistemas montañosos (Figura 4.2).

Las áreas boscosas intervenidas es un caso típico de fragmentación. A medida que avanza la perturbación, aumenta la cantidad y tamaño de los claros, la vegetación natural se va subdividiendo, aislando y disminuye el área total del hábitat natural. Se llega a un punto crítico cuando el terreno perturbado y no la vegetación natural pasa a ser la característica predominante en el paisaje y los fragmentos están cada vez más aislados (Bennett, 2004).



Figura 4.2 Remanentes boscosos en la cuenca media del CBPC

Fuente: Fotografía del autor

El cultivo y la utilización de la tierra para pastos está sesgada hacia áreas que tienen los suelos más fértiles y son más accesibles, como llanuras y valles ribereños fértiles (Bennett, 2004). Este fenómeno se puede observar en la parte intermedia del CBPC, en donde grandes extensiones de áreas de pastos predominan, dejando las áreas boscosas delimitadas en las riberas de los ríos o en las cimas montañosas.

Estos parches boscosos de diferentes tamaños, formas y composición son determinantes para establecer las redes de conectividad en el CBPC ya que subsisten a menudo como hábitats lineales remanentes o como corredores de hábitat en ambientes gravemente alterados como terrenos agrícolas, áreas urbanas y entre plantaciones forestales de especies exóticas.

Por su parte, los manglares son uno de los ecosistemas más amenazados del mundo. A pesar que la mayoría de los bosques de manglar en el Istmo están protegidos, la legislación concede a estas áreas el estatus de reservas forestales o refugios de vida silvestre. No obstante el manejo efectivo ha sido perjudicado por un inadecuado conocimiento técnico, falta de políticas de manejo y escasos recursos financieros (Jiménez, 1994).

En el Corredor, los manglares se ubican en las desembocaduras de los ríos Lagarto, Sardinal, Guacimal y Aranjuez (Figura 4.3). Estos abarcan 2.296,49 has, de las cuales 1.626,70 ha (70,83%) se encuentran dentro del Humedal Estero de Puntarenas (HEP), cuya categoría de manejo ofrece cierta protección.



Figura 4.3 Bosque de manglar en la desembocadura del río Guacimal

Fuente: Fotografía del autor

Las restantes 669,79 has están fuera de protección y por lo tanto más propensos a sufrir problemas ambientales como la tala para producción de madera, carbón y taninos, la proliferación de salinas y estanques para camarones), contaminación fecal y química, relacionada con actividades agrícolas, especialmente con la producción de piña y caña de azúcar (Solórzano et al, 1991) .

El Humedal Estero Puntarenas se crea con el objetivo de proteger los recursos pesqueros y biológicos, siendo un lugar especial, ya que reúne las condiciones idóneas para ser altamente productivo; los ríos Naranjo, Aranjuez, Seco y Ciruelas desembocan en el estero Puntarenas. Además, está bordeado por una zona rica en manglares, característica importante para el crecimiento de muchas especies de valor comercial y alta productividad primaria (Salas, Salazar & Arias, 2012).

Estos manglares poseen bancos de pianguas y son sitios de reproducción de peces y de anidación y descanso de más de 50 especies de aves, entre las cuales se encuentra la garza espátula rosada. En los fondos arenosos todavía se encuentran la chucheca y el mejillón navajuela. En el HEP también es posible encontrar cocodrilos (*Crocodylus acutus*), caimanes (*Caiman crocodilus crocodilus*), iguanas (*Iguana iguana*), monos congo (*Alouatta palliata*) y mono cariblanco (*Cebus capucinus*) (Salas et al, 2012).

Las áreas de pastos son utilizadas para actividades de pastoreo y ganadería de engorde y de leche. Esta cobertura representa la matriz que envuelve las restantes coberturas y su distribución se localiza en todo el corredor, especialmente en las secciones medias de las cuencas hidrográficas (Figura 4.4).



Figura 4.4 Cobertura herbácea en la cuenca media del CBPC

Fuente: Elaboración propia

Las áreas con pastizales son utilizadas por mamíferos de tamaño mediano como pizotes (*Nasua narica*), armadillos (*Dasyus novemcinctus*), zorras grises (*Urocyon*

cinereoargenteus), zorros pelones (*Didelphis virginiana*) y reptiles como boas (*Boa constrictor*), terciopelos (*Bothrops asper*) y otros. Mediante el reconocimiento de huellas, trillos y se demostró que los animales cruzan las áreas de pastos para tratar de llegar a las coberturas boscosas que se encuentran próximas a ellas (Camacho & Chinchilla, 2013).

A lo largo del Corredor se encuentran diversas plantaciones forestales, las más comunes son la teca (*Tectona grandis*) y melina (*Gmelina arborea*); también hay pequeñas plantaciones de pino (*Pinus spp.*), eucalipto (*Eucaliptus spp.*) y ciprés (*Cupressus spp.*), que son utilizados como cortinas rompevientos o cercas vivas (Figura 4.5).



Figura 4.5 Cortinas rompevientos de pinos (*pinus spp.*), cuenca del río Lagarto

Fuente: Fotografía del autor

En el Corredor, el área cultivada de teca es de aproximadamente 86,40 has (0,11% del área total). Mediante comprobación de campo se observó que la mayoría de plantaciones son pequeñas parcelas y sus dueños son pequeños productores que se dedican a otras actividades, generalmente de ganadería y aprovechan parte de su terreno para sembrar tanto teca (*Tectona grandis*) como melina (*Gmelina arborea*) (Figura 4.6).



Figura 4.6 Plantación de teca (*Tectona grandis*), cuenca del río Guacimal

Fuente: Fotografía del autor

Delimitar las plantaciones forestales es importante para los enlaces de conectividad, según Bennett (2004) estas pueden formar redes junto con hábitats naturales remanentes, desempeñando un papel significativo en sustentar una amplia gama de especies de vida silvestre y en mejorar la biodiversidad dentro de ambientes modificados.

En cuanto a cultivos, se pudieron diferenciar dos monocultivos ubicados en la parte baja del Corredor: piña y caña de azúcar. La piña se cultiva en Costa Rica desde hace más de 50 años en distintas regiones. La actividad piñera dentro del corredor se inició en el año 2008 específicamente en la Hacienda San Agustín ubicada en Chomes a través de la empresa DOLE. Se inició cultivando un área de 200 has, hasta llegar a sembrar 250 has en el año 2010 (Vázquez, 2011). Actualmente dentro de Corredor se siembran más de 1.000 hectáreas de piña (Figura 4.7).



Figura 4.7 Plantación de piña (*Ananas comosus*) en Hacienda Chapernal, distrito Pitahaya
Fuente: Fotografía del autor

El cultivo de piña trae una serie de consecuencias negativas a nivel social y ambiental, las más graves son el uso de agroquímicos que atentan contra la salud de los trabajadores y de las comunidades aledañas pues están expuestos a grandes cantidades de ellos; provoca crisis en otras actividades agrícolas porque debido a la acelerada expansión piñera se dan cambios drásticos en los usos tradicionales de la tierra; los pequeños agricultores se ven obligados a vender sus tierras y pasan de ser propietarios a ser proletarios (Acuña, 2006).

El cultivo de la caña de azúcar está presente en el área desde el año 1963, cuando se fundó el Ingenio El Palmar ubicado en Pitahaya (Figura 4.8). Gracias a la apertura de vías de comunicación como la Carretera Interamericana y el desarrollo de la agricultura e industria azucarera hacia la periferia del “Valle Central”, se estimuló el cultivo a gran escala en tierras que estaban en desuso o que eran utilizadas para ganadería extensiva. Fue así como se abrió al cultivo de caña y también de arroz y otros productos mecanizables (Arroyo & León, 2010).

La caña de azúcar es el monocultivo que ocupa mayor área -dentro del Corredor, abarcando un total de 4.792,22 has, (7,21%) Según el informe de resultados de la zafra de 2012-2013 de la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA), la región Puntarenas es la tercera región del país en producción de caña con un total de 5.977,11 has que corresponden a un 9,44% del total en todo el país (LAICA, 2013).



Figura 4.8 Plantación de caña de azúcar en el Ingenio El Palmar, distrito Pitahaya
Fuente: Fotografía del autor

Los datos de producción de las últimas cuatro zafras (períodos 2009-2013) para la región Puntarenas, se representan en el gráfico 4.1. Exceptuando la zafra 2009-2010, la tendencia es hacia el aumento en la producción tanto de caña molida como de azúcar en bultos (LAICA, 2013).

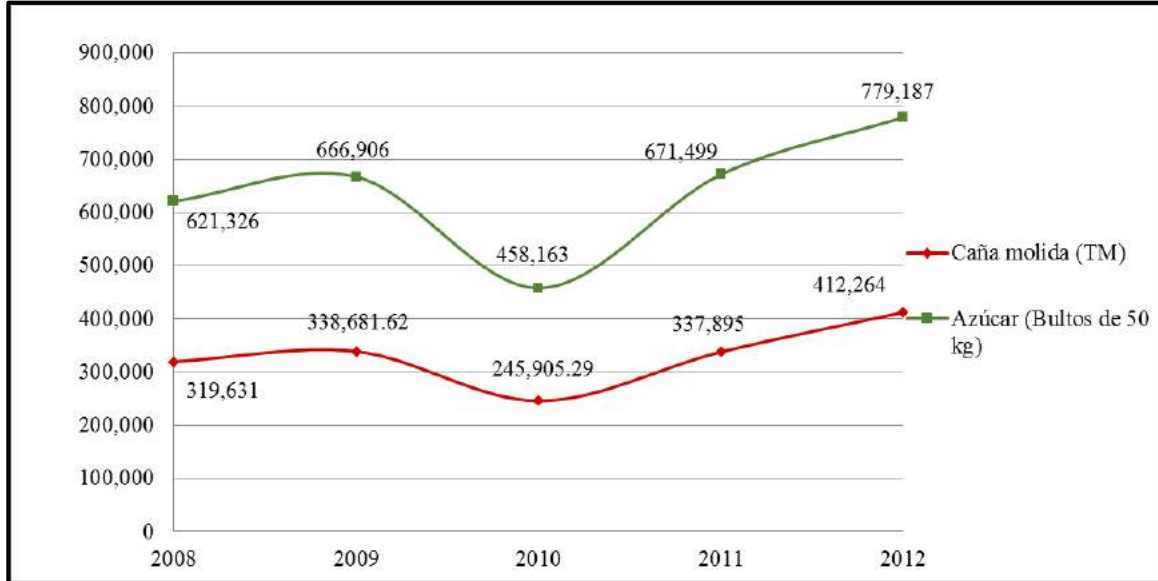


Gráfico 4.1 Producción de caña molida y azúcar según zafras 2008-2013

Fuente: Elaboración propia a partir de LAICA, 2013

Sin embargo, a partir de 2011, el sector azucarero se ha venido recuperando, por ejemplo, la producción de azúcar pasó de 458.163 bultos de 50 kg en la zafra 2010-2011 a 779.187 en la zafra 2012-2013. De la producción total generada en la región Puntarenas, el 80,18% se produce dentro del CBPC, aumentando cada vez más la presión hacia las áreas protegidas del Humedal Estero Puntarenas.

Se ha comprobado que grandes extensiones agrícolas representan un obstáculo para las especies locales. Según Bennett (2004) los desplazamientos a mayores distancias a través de terrenos agrícolas suelen darse donde las cercas con vegetación autóctona y parcelas de árboles ofrecen trampolines de cobertura. Los límites para las poblaciones locales los establecen los tramos amplios de terreno agrícola que son demasiado anchos para que los animales los crucen fácilmente.

En la parte baja también se identificaron actividades productivas como la extracción de sal y el cultivo de camarón, específicamente en las cuencas bajas de los ríos Lagarto y Guacimal. Estas actividades ocupan 311,92 has, en su mayoría sobre una topografía plana y cercana al litoral, aprovechando las aguas del mar para llenar los estanques que servirán en este tipo de actividades.

La extracción de sal constituye una actividad histórica en el desarrollo económico del Pacífico, pero fue hasta 1974 que se gestó una cooperativa para unificar a los salineros, con el fin de mejorar su posición en el mercado. Se cambió la forma de producción por una que permitiera una mayor eficiencia a la hora de crecer y competir en el mercado: se utilizó la energía solar en lugar de los grandes hornos para “cocinar” la sal.

Por otro lado, la camaronicultura como actividad se inicia en 1975, con el establecimiento de la empresa Maricultura S.A., empresa privada establecida en Chomes (Figura 4.9), cuyo fin era el trabajo con tres especies, *Penaeus vannamei*, *P. stylirostris* y *P. occidentales*. En algunas fincas camaroneras, el cultivo de camarón se redujo a un ciclo de cultivo por año, abarcando solamente los meses de invierno y durante la época seca, utilizan los estanques para la extracción de sal marina (Bilio, Saborío & Hernández, 1999). Estos cultivos han reemplazado importantes cantidades de bosque de manglar, tanto así que algunas camaroneras y salinas de Chomes se encuentran a escasos metros del cordón litoral.

Los cuerpos de agua incluyen los cuerpos de agua formados por ríos, lagos, lagunas naturales y artificiales. También contiene el material que es arrastrado por la red hídrica y depositado a orillas del lecho hasta su desembocadura. Esta cobertura abarca 448,07 hectáreas, en su mayoría representadas por los tres principales ríos: Aranjuez, Guacimal y Lagarto, recorriendo alrededor de 50 kilómetros desde la cordillera de Tilarán hasta desembocar en el Golfo de Nicoya.



Figura 4.9 Salinas y camaroneras en distrito Chomes

Fuente: Fotografía del autor

La cobertura urbana está representada por la infraestructura desarrollada por el ser humano, incluyendo centros poblacionales importantes como Santa Elena, Chomes, Punta Morales. Ocupa 174 hectáreas de territorio e incluye las carreteras asfaltadas, entre ellas la Interamericana Norte y la Ruta Nacional 606 que inicia en Sardinal y finaliza en Guacimal. La cobertura tierras descubiertas se refiere a áreas que no tienen ningún tipo de cobertura, ya sea natural o antrópica, por ejemplo deslizamientos de terreno (Arancibia), caminos de lastre y zonas de explotación de materiales para construcciones (Figura 4.10).



Figura 4.10 Otras coberturas de Uso de la tierra. A) Sección de lastre de la carretera nacional 606 Guacimal-Monteverde. B) Comunidad de Santa Elena, Monteverde. C) Lecho del río Lagarto, cuenca baja. D) Tajo en las inmediaciones de la carretera Guacimal-Monteverde. Fuente: Fotografías del autor

En términos generales, se realizó una descripción del actual uso de la tierra en el CB Pájaro Campana. Con la caracterización de las variables socioeconómicas descritas en el capítulo III y el análisis del uso de la tierra descrito en este capítulo, se afirma que las coberturas de uso de la tierra corresponden a situaciones económicas, sociales y ambientales.

En la parte superior del Corredor predomina la cobertura boscosa dado el estatus de protección y conservación de la biodiversidad. En la parte media del Corredor predominan los pastos, la cobertura boscosa es menos predominante, aquí la intervención humana se evidencia más, hay más parches boscosos sobre todo en las riberas de los ríos.

Por último, la parte baja es la más dinámica en cuanto al uso de la tierra, en ella se localizan dos monocultivos: la caña y la piña, las cuales dominan el paisaje junto con esporádicas

plantaciones forestales y algunos cultivos de menor extensión como el chile dulce, algodón y palma aceitera. Sin olvidar la presión que actividades como las salinas y camaroneras generan sobre el bosque de manglar.

Siguiendo con la metodología planteada, se procedió a desarrollar un análisis de la conectividad estructural de la cobertura boscosa.

4.3 Identificación del nivel de conectividad realizando una Evaluación Multicriterio (EMC)

Se realizó una Evaluación Multicriterio (EMC) utilizando los criterios: divergencia de uso de la tierra, vacíos de conservación en la red hídrica, pendientes del terreno (%), uso de la tierra, distancia a ríos, precipitación (mm), nacientes de agua y densidad poblacional.

Para establecer estadísticamente los pesos indicados para cada criterio, se aplicó la metodología de las Jerarquías Analíticas de Thomas Saaty. La matriz A compara los criterios seleccionados estimando la importancia relativa entre cada uno de ellos (Cuadro 4.2). La matriz fue calculada tomando en consideración la escala de importancia relativa de Saaty (Capítulo II, sección 2.3.2.2).

La matriz A' (Cuadro 4.3) se calculó dividiendo las columnas de la matriz A entre el vector y el peso para cada variable se obtuvo promediando los criterios según las filas de la matriz A' (Cuadro 4.4).

Cuadro 4.2 Matriz A según el método de Jerarquías Analíticas

Criterios	Divergencia de uso	Vacíos de conservación en la red hídrica	Pendiente (%)	Uso de la tierra	Distancia a ríos	Precipitación (mm)	Protección de nacientes	Densidad poblacional
Divergencia de uso	1	1	2	3	4	5	6	7
Vacíos de conservación en la red hídrica	1	1	3	4	1	5	6	7
Pendiente (%)	1/2	1/3	1	2	3	5	3	7
Uso de la tierra	1/3	1/4	1/2	1	3	5	6	7
Distancia a ríos	1/4	1	1/3	1/3	1	5	6	7
Precipitación (mm)	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1	2	5
Protección de nacientes	1/6	1/6	1/3	1/6	1/6	1/2	1	2
Densidad poblacional	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/5	1/2	1
Vector	3,59	4,09	7,51	10,84	12,51	26,70	30,50	43,00

Cuadro 4.3 Matriz A' según el método de Jerarquías Analíticas

Criterios	Divergencia de uso	Vacíos de conservación en la red hídrica	Pendiente (%)	Uso de la tierra	Distancia a ríos	Precipitación (mm)	Protección de nacientes	Densidad poblacional
Divergencia de uso	0,28	0,24	0,27	0,28	0,32	0,19	0,20	0,16
Vacíos de conservación en la red hídrica	0,28	0,24	0,40	0,37	0,08	0,19	0,20	0,16
Pendiente (%)	0,14	0,08	0,13	0,18	0,24	0,19	0,10	0,16
Uso de la tierra	0,09	0,06	0,07	0,09	0,24	0,19	0,20	0,16
Distancia a ríos	0,07	0,24	0,04	0,03	0,08	0,19	0,20	0,16
Precipitación (mm)	0,06	0,05	0,03	0,02	0,02	0,04	0,07	0,12
Protección de nacientes	0,05	0,04	0,04	0,02	0,01	0,02	0,03	0,05
Densidad poblacional	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02

Fuente: Elaboración propia a partir de Gómez & Barredo, 2005

Cuadro 4.4 Matriz W según el método de Jerarquías Analíticas

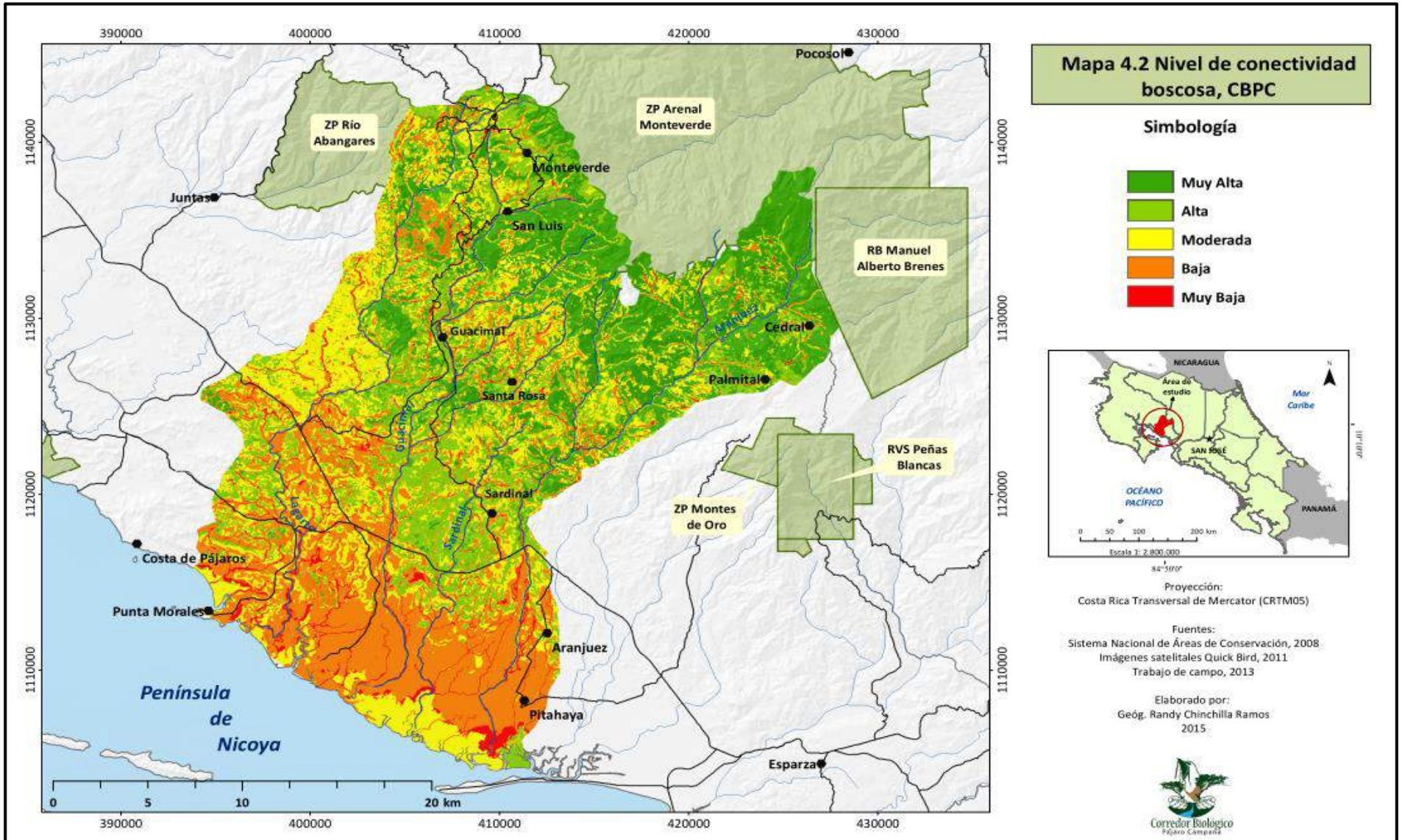
Criterios	Pesos
Divergencia de uso de la tierra	0,24
Vacíos de conservación en la red hídrica	0,24
Pendientes (%)	0,15
Uso de la tierra	0,14
Distancia a ríos	0,13
Precipitación (mm)	0,05
Protección de nacientes	0,03
Densidad poblacional	0,02

Fuente: Elaboración propia a partir de Gómez & Barredo, 2005

Con los pesos determinados mediante la metodología anterior, se calculó el nivel de conectividad del CBPC, utilizando la herramienta *Raster Calculator*. La ecuación es la siguiente:

$$\begin{array}{l}
 \text{Nivel} \\
 \text{de} \\
 \text{conectividad}
 \end{array}
 = \sum
 \begin{array}{l}
 (\text{Divergencia de uso de la tierra} * \mathbf{0,24}) + (\text{Protección de vegetación en la} \\
 \text{red hídrica} * \mathbf{0,24}) + (\text{Pendientes del terreno} * \mathbf{0,15}) + (\text{Uso de la tierra} * \mathbf{0,14}) \\
 + (\text{Distancia a ríos} * \mathbf{0,13}) + (\text{Precipitación} * \mathbf{0,05}) + (\text{Protección de} \\
 \text{nacientes} * \mathbf{0,03}) + (\text{Densidad poblacional} * \mathbf{0,02})
 \end{array}$$

Con base en el análisis anterior se obtuvo el mapa 4.2 nivel de conectividad del CBPC, el cual muestra el grado de conectividad y posibilidades de desplazamiento para la biodiversidad. También señala las zonas con mayor resistencia al desplazamiento, que coinciden con las áreas con niveles inferiores de conectividad.



En el cuadro 4.5 se muestra el área y el porcentaje de cada uno de los niveles de conectividad boscosa en el Corredor. Las áreas con conectividad muy alta abarcan un 22,89% del total del Corredor y se encuentran sobre todo en la parte alta y corresponden a zonas con pendientes que van de onduladas hasta fuertemente escarpado (a partir de 15%). Aquí, la cobertura boscosa es amplia, abundante y protegida por ley, posee una precipitación constante durante ocho meses al año y las actividades económicas están dirigidas principalmente al ecoturismo.

Cuadro 4.5 Conectividad estructural boscosa en el CBPC, 2015

Rango de Conectividad	Área total (Ha)	Porcentaje
Muy Alta	15.176	22,89
Alta	13.460	20,30
Moderado	17.473	26,35
Baja	17.652	26,62
Muy Baja	2.548	3,84
TOTAL	66.309	100

Fuente: Elaboración propia

Las áreas con conectividad alta representan un 20,30% y se encuentran distribuidas por todo el Corredor, básicamente son áreas boscosas intervenidas, charrales y plantaciones forestales. En la parte alta las localizamos en las riberas de los tributarios de los ríos Guacimal y Aranjuez, ubicadas sobre pendientes onduladas a fuertes y con cobertura boscosa.

Las zonas con conectividad moderada constituyen un 26,35% del área. Son básicamente zonas de potreros, pastizales, campos de cultivo, algunas riberas de ríos y áreas de bosque de manglar. Como se mencionó anteriormente, los manglares son áreas amenazadas por diversas causas, entre ellas, la extracción de madera, el aumento de las salinas, camarónicas y la contaminación por agroquímicos de las piñeras y cañeras.

Por estas razones es que la criticidad es moderada para indicar que se deben establecer lineamientos de recuperación de bosques de manglar, especialmente en los manglares que no están protegidos por ley.

Las áreas con conectividad baja ocupan un 26,62% del área, se localizan en las riberas de los ríos y en las áreas de pastizales en la parte superior del corredor. Sin embargo, una región de baja conectividad se concentra en la parte baja del corredor, en zonas donde se cultivan amplias extensiones de piña y caña de azúcar. Aunque la divergencia de uso de la tierra indica que son áreas aptas para el uso agrícola, en términos de conectividad estructural los cañaverales y los campos de cultivo de piña se consideran un obstáculo entre el bosque nuboso y el bosque de manglar y por tanto dificultan la movilidad de las especies de fauna.

Finalmente, la conectividad muy baja se concentra en 3,84% del área total del Corredor. Estas áreas se encuentran asociadas a la red fluvial que recorre el Corredor así como a algunas zonas en el límite entre el bosque de manglar y los cañaverales. Estas áreas de baja conectividad deben su existencia a que los ríos no cuentan con la cobertura boscosa que la Ley Forestal N 7575 (1996) establece. Por ejemplo, en la parte baja, los ríos que recorren las plantaciones de piña y de caña de azúcar son susceptibles a recibir los desechos que estas actividades agrícolas producen. Los ríos en estas zonas son el único paso que puede darse para la fauna terrestre. Es por esto, que estas áreas se establecieron con el rango más bajo de conectividad. Si se desea mantener y posteriormente aumentar la conectividad, es necesario que la red fluvial cuente con una cobertura boscosa adecuada.

4.4 Cuantificación y configuración del paisaje: la fragmentación boscosa en el CBPC

La fragmentación boscosa es un proceso dinámico que da como resultado cambios en el patrón del hábitat en un paisaje a través del tiempo (Bennett, 2004); por lo tanto reconocer e interpretar la distribución espacial de los bosques es fundamental para conservar su diversidad.

Los cambios en el patrón del paisaje que pueden presentarse a partir de la fragmentación pueden ser identificados y descritos a partir de la medición de atributos tales como: el área total del hábitat natural remanente, la distribución de frecuencia de tamaño de los fragmentos, la forma de los fragmentos y la distancia entre fragmentos (Bennett, 2004).

Para el CBPC se calcularon seis atributos descritos en el Cuadro 4.6 que logran aclarar el nivel de fragmentación mediante el análisis de la distribución, el tamaño promedio y la forma de los parches.

A pesar de que la Ley Forestal N° 7575 hace referencia al tamaño mínimo (2 hectáreas) para que un parche sea considerado como tal, en este análisis el tamaño mínimo que se tomó en cuenta es de una hectárea, porque la fragmentación opera a diferentes escalas, para distintas especies y distintos hábitats: un paisaje fragmentado para una especie puede no serlo para otra con mayores capacidades de dispersión o requerimiento (McGarigal & Marks 1994; Benavidez, 1998).

La cobertura boscosa está distribuida en 1.213 parches boscosos, con un tamaño promedio de 24,32 hectáreas, los centroides se encuentran en distancias desde 39 metros hasta los 37 kilómetros unos de otros, lo que facilita las posibilidades reales de conectividad.

Cuadro 4.6 Valores de las métricas e índices de fragmentación por clase y nivel de análisis

Métricas	Cobertura boscosa absoluta y relativa		No. de fragmentos	Tamaño promedio de fragmentos (has)	Distancia promedio entre fragmentos (km)	Densidad de parches (Por cada 100 ha)	Índice de parche mayor (%)
	has	%					
CBPC	29.870	44,91	1.213	24.32	7.68	12,13	20,83
Cuenca alta	15.824	69,97	179	84.26	8.94	1,79	57,97
Cuenca media	8.116	30,15	485	13.52	10.40	5,85	14,89
Cuenca baja	5.930	34,94	549	13.26	12.97	4,49	10,43

Fuente: Elaboración propia

La cuenca alta es la menos fragmentada, pues casi el 70% del área tiene cobertura boscosa, presenta 179 fragmentos con un tamaño promedio de 84,26 hectáreas, cuya distancia promedio es de casi 9 kilómetros entre los centroides. El mosaico paisajístico indica una predominancia de área boscosa sobre otros usos, situación favorecida por el ideal de protección y conservación por parte de ONG's que administran importantes Reservas privadas como la RBBNM, la ACM, el IMV, la RBNSE en coordinación con el Estado (Figura 4.11).

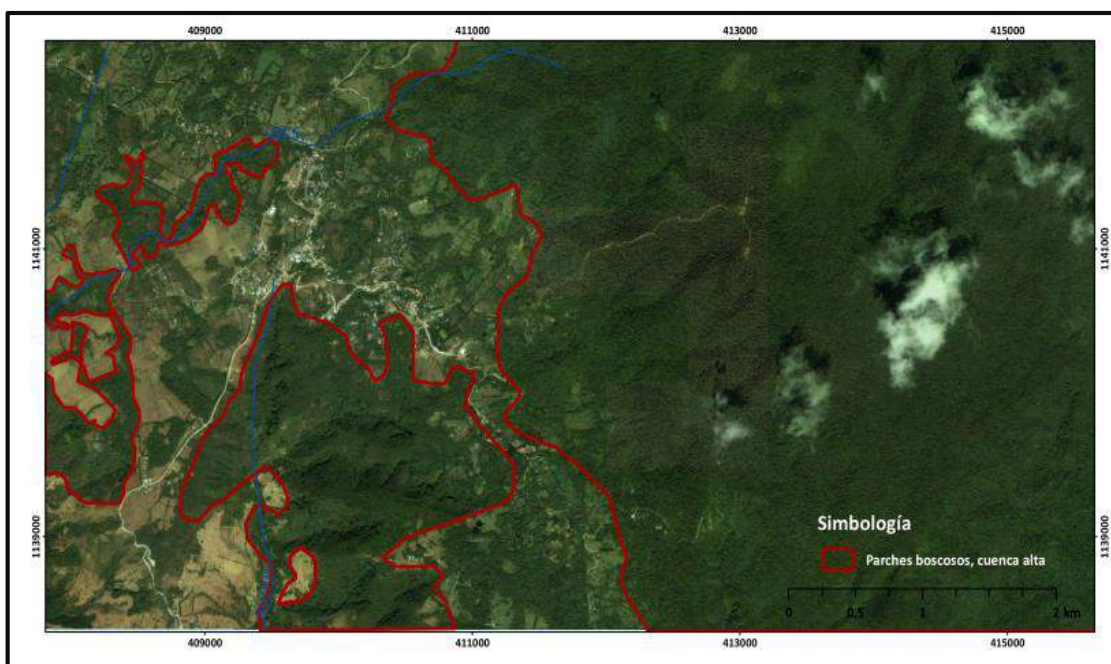


Figura 4.11 Proceso de fragmentación en Monteverde, se observa un bloque boscoso que corresponde a la ZP Arenal Monteverde.

Fuente: Google Earth 2015

La parte intermedia tiene considerablemente menor cantidad bosque con 8.116 hectáreas, distribuidas en 485 fragmentos cuyo tamaño promedio es de 13,52 ha y que se encuentran a una distancia mayor a los 10 km desde sus centroides. Evidentemente, el grado de fragmentación aumentó con respecto a la parte alta.

El aislamiento entre parches boscosos es otra consecuencia del proceso de fragmentación, a medida que avanza el proceso la distancia entre parches aumenta y estos son separados por los nuevos usos ya sean plantaciones, infraestructura, potreros, etc.

En la parte baja del Corredor, la cobertura boscosa se encuentra más dispersa y fragmentada que en la parte intermedia y alta. Este nivel de fragmentación se ha acentuado debido al aumento de las áreas utilizadas para cultivos agroindustriales de piña, caña de azúcar y melón (Figura 4.12).

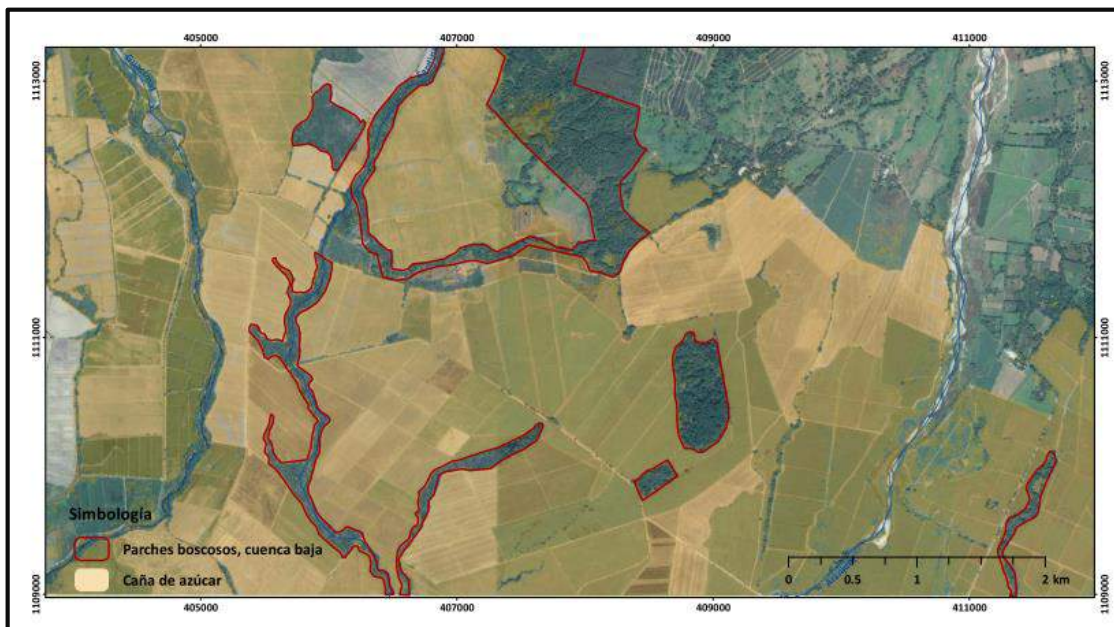


Figura 4.12 Proceso de fragmentación en Pitahaya, se pueden observar algunos parches boscosos rodeados de una matriz de cultivos agroindustriales.

Fuente: Google Earth 2015

La cobertura boscosa cubre 5.930 hectáreas segmentada en 549 fragmentos. Estos fragmentos tienen un tamaño promedio de 13,26 ha y se encuentran más alejados unos de otros (12,97 km de los centroides).

Los remanentes boscosos están restringidos a las orillas de los ríos y a algunos parches rodeados de caña de azúcar o piña. Esto constituye un problema, pues al haber un marcado contraste en la estructura y composición floral de la vegetación en el cruce entre áreas naturales y terrenos desarrollados, inhibe a muchos organismos a desplazarse a través del borde (Bennett, 2004).

Siendo este el panorama de la fragmentación y conectividad en el área de investigación, se hace necesario establecer posibles soluciones para detener y posteriormente revertir más alteraciones a los ecosistemas naturales. En el siguiente capítulo, se establecer redes de conectividad estructural boscosa para asegurar la restauración de hábitats intervenidos.

Capítulo V Propuesta de red de conectividad estructural boscosa para el CBPC

5.1 Introducción

La conectividad estructural es considerada como un elemento vital en el paisaje, debido a su importancia para la supervivencia demográfica de especies. La conectividad es definida como el grado en el cual un paisaje facilita o impide el movimiento de organismos entre diferentes parches (Murrieta, 2006).

Las redes de conectividad dentro de corredores biológicos integran criterios de importancia en el desplazamiento y supervivencia de las especies animales, como cercanía a fragmentos de bosque o a cuerpos de agua, así como se alejan de usos del suelo que limiten el paso de las especies (Baltodano y Zamora, 2010).

Es muy común que las redes de conectividad utilicen en su mayoría elementos lineales como ríos para conectar el bosque, ya que sus valores de fricción son mínimos, además de que favorecen la dispersión y movimiento de especies a través de un paisaje fragmentado y con diversos usos de la tierra.

Según Bennett (1999) las rutas más cortas para preservar o restablecer la conectividad estructural, se basa en tres razones ligadas a mantener los procesos ecológicos:

- 1) En un paisaje fragmentado un hábitat de buena calidad puede tener poblaciones con una tasa de crecimiento positiva, en donde, sus individuos al tener la posibilidad de desplazarse de un hábitat a otro pueden sostener a las poblaciones en declive de los hábitats de mala calidad
- 2) Mientras más cercanos se encuentren los fragmentos de bosque, más facilidad para el movimiento de especies que operan a escala de paisaje o regional.

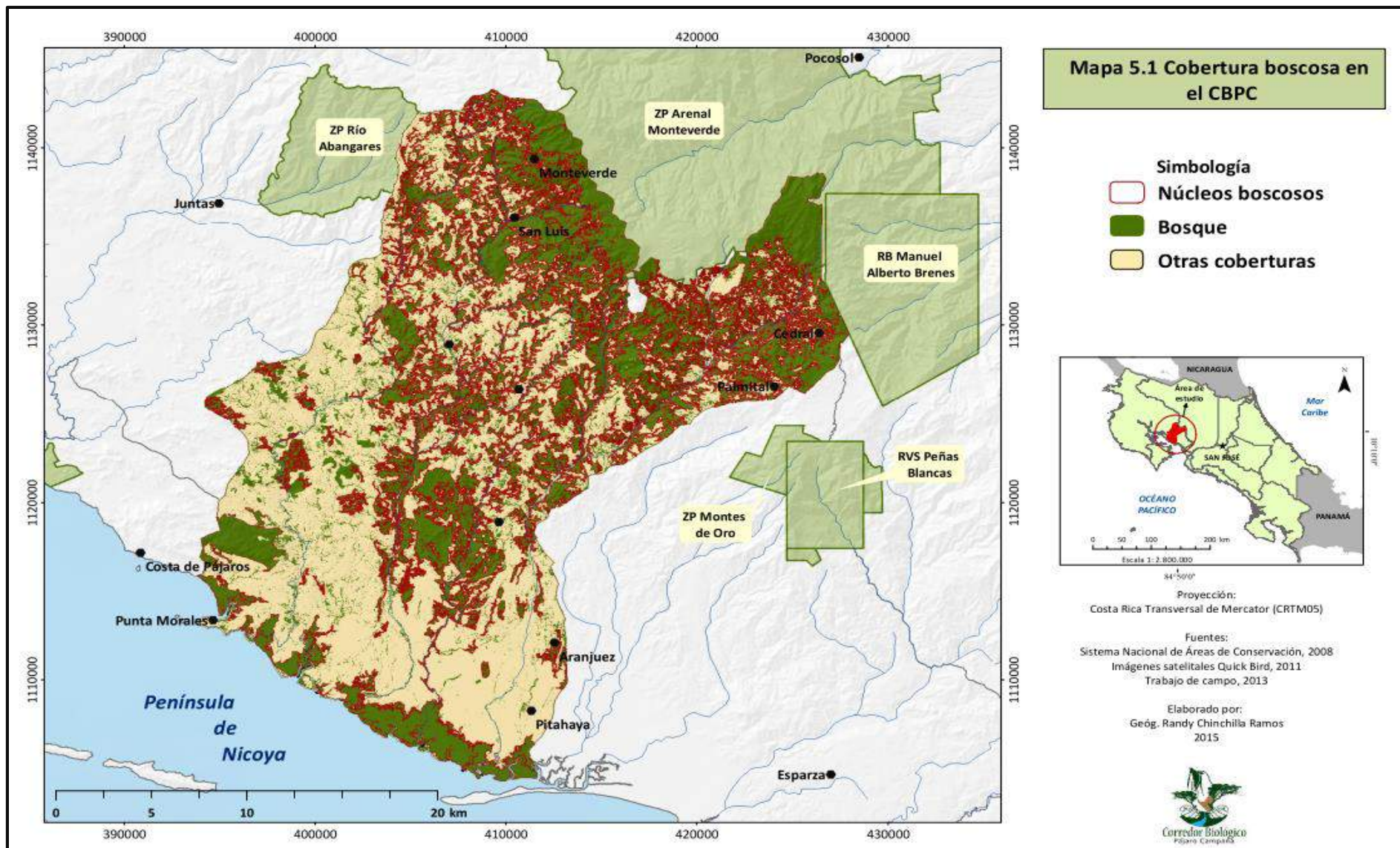
- 3) La cercanía entre fragmentos de bosques naturales facilita la restauración ecológica de la conexión física entre estos y, por ende, la ejecución de acciones para favorecer el movimiento de individuos de especies que tienen limitaciones para moverse a través de los usos agrícolas y requieren de elementos arbóreos como corredores biológicos.

Es decir, cuanto más cerca estén los fragmentos de bosque uno de otro, y menor contraste haya entre estos y el hábitat que los rodea (p. ej., el contraste entre un bosque y una plantación forestal es menor que el que existe entre un bosque y un pastizal) habrá mayor conectividad estructural (Arias et al, 2008).

Esta propuesta de red de conectividad estructural prioriza áreas con el fin de manejar el paisaje para mantener y aumentar la conectividad entre los remanentes de bosques naturales. Bajo esta premisa, se establecieron redes de conectividad basadas en la metodología de Hoctor et al. (1999) (ver capítulo II, sección 2.4), que establece tres pasos a seguir: 1) la identificación de las áreas boscosas a conectar (núcleos), 2) el establecimiento de niveles de dificultad para el desplazamiento de las especies en el área de investigación y 3) la modelización de la red de conectividad estructural integrada por los núcleos a través de las rutas de menor dificultad al desplazamiento.

5.2 Identificación de áreas boscosas (núcleos)

Se identificaron 1.213 núcleos o parches boscoso cuyo tamaño varía entre 1 y 6.500 hectáreas, el tamaño promedio de los núcleos es de 24,32 ha y la distancia promedio es de 7,68 km (ver Cuadro 4.6). El mapa 5.1 muestra los núcleos o parches boscosos para la propuesta de conectividad estructural boscosa.



Los núcleos boscosos de la parte alta son muy importantes para la conectividad. Prácticamente constituyen un solo bloque boscoso en dirección noreste-suroeste, que conforman un área de transición hacia los hábitats boscosos protegidos por la ZPAM (Figura 5.1). Estos parches pertenecen al área de amortiguamiento de la ZP Arenal Monteverde y las reservas privadas ubicadas bajo esta categoría de manejo.

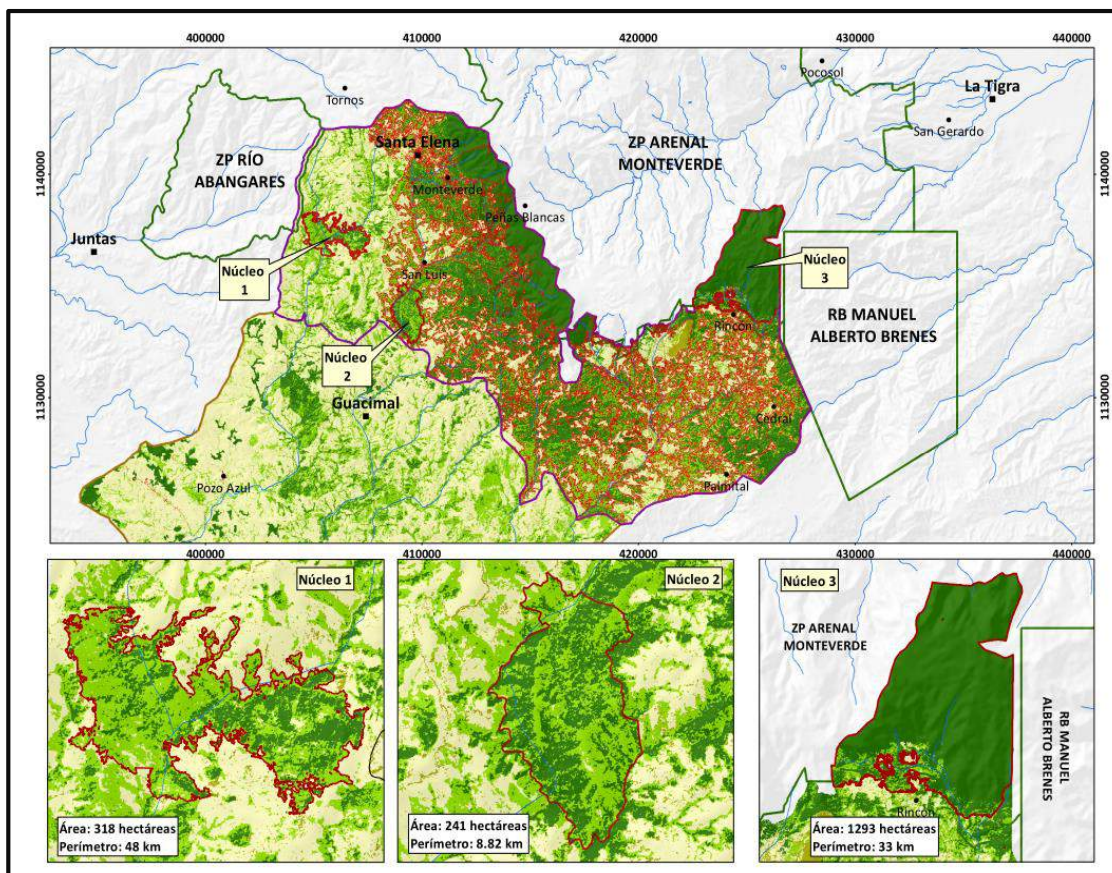


Figura 5.1 Núcleos de conectividad estructural boscosa en la cuenca alta del CBPC.

Fuente: Elaboración propia

En la parte intermedia se identificaron otros núcleos importantes que permiten establecer la conectividad en el Corredor, como por ejemplo Finca La Guaria, de aproximadamente 441 hectáreas de bosque secundario y en regeneración y bordeada al norte por el Río Lagarto (Figura 5.2).

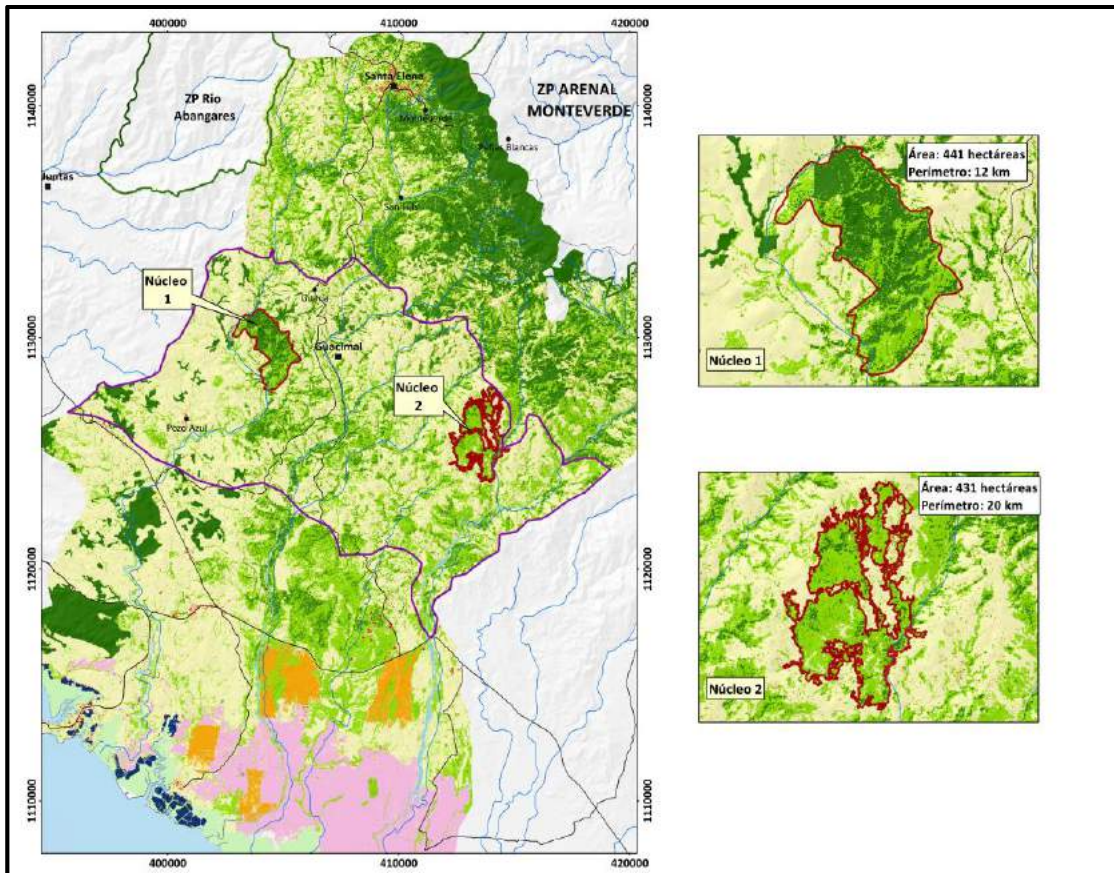


Figura 5.2 Núcleos de conectividad estructural boscosa en la cuenca media del CBPC.
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, los núcleos boscosos de la cuenca baja, que corresponden en su mayoría a los parches de bosques de manglares distribuidos en 52 kilómetros de línea costera (Figura 5.3). Estos núcleos tienen un tamaño muy irregular, desde 7 hectáreas hasta más de 50 ha. En menor medida, también se identificaron parches aislados que se encuentran rodeados de áreas de alta fricción al desplazamiento. Otro núcleo importante es el que se encuentra en la propiedad de la corporación PIPASA S.A. ubicada en Sardinal. Aquí tenemos un parche de bosque en regeneración de aproximadamente 1.773 hectáreas con algunas áreas cultivadas de teca (*Tectona grandis*).

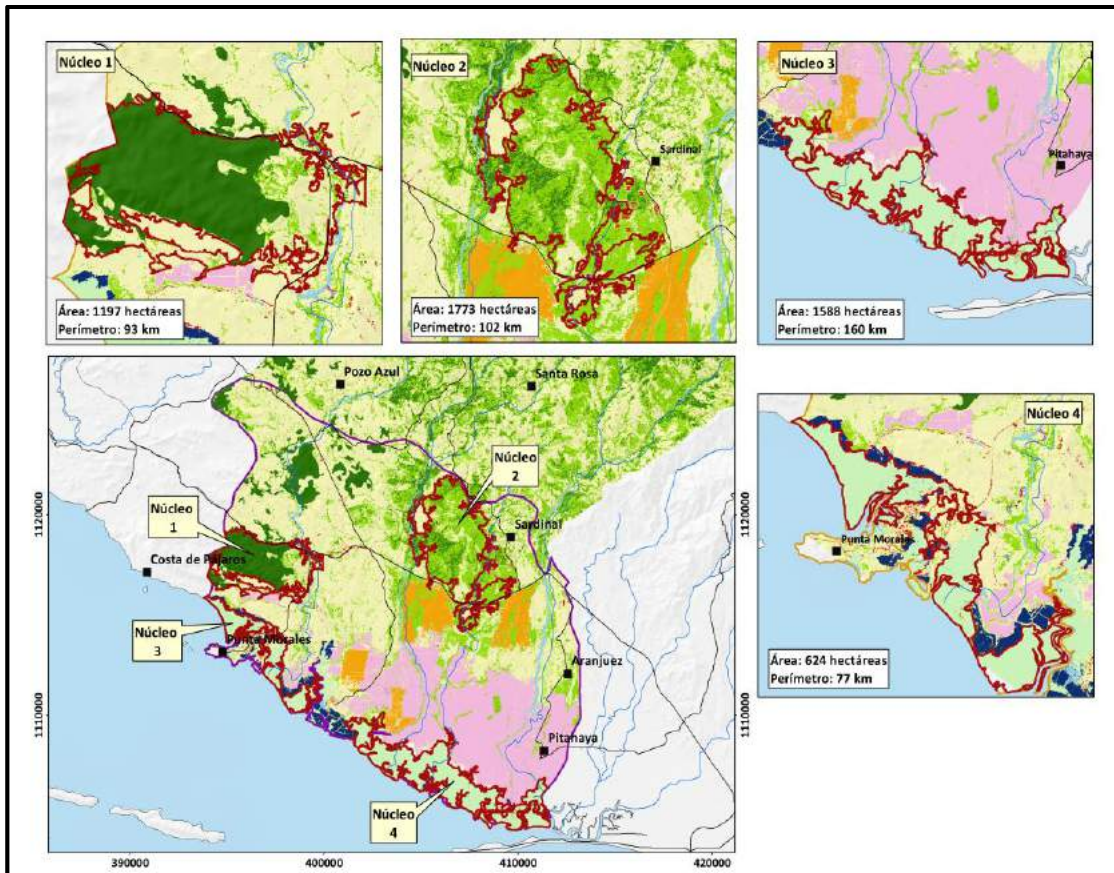


Figura 5.3 Núcleos de conectividad estructural boscosa en la cuenca baja del CBPC.

Fuente: Elaboración propia

A partir de estos núcleos, es posible encontrar una gran posibilidad de propiciar el enlace desde la parte norte hasta la parte sur del corredor, por lo que es muy importante conservar y proteger estos bosques.

5.3 Identificación del costo de desplazamiento (capa de fricción)

Los desplazamientos de animales, el agua y el viento por los mosaicos de paisajes y el flujo de materiales, energía y nutrientes que se transportan de esta manera, son básicos para la forma como funciona el paisaje y para su sostenibilidad ecológica (Forman & Godron, 1986).

Cuando se habla de movimiento no solamente se refiere a la capacidad física de un organismo de desplazarse, sino también a la capacidad de una población de dispersarse ya sean especies vegetales o animales (Ramos, 2004).

Se encontró que el costo de desplazamiento es mayor en usos de la tierra más intensivos, por ejemplo en áreas con cultivos agroindustriales, en áreas urbanizadas, riberas de ríos sin cobertura boscosa y en áreas de pastos ubicadas en laderas pronunciadas (Figura 5.4).



Figura 5.4 Costos de desplazamiento entre dos usos de la tierra diferentes.

Fuente: Elaboración propia

Por el contrario, el costo de desplazamiento es menor en áreas cubiertas de bosques, en la red fluvial y áreas protegidas o con planes de manejo dirigidos a la conservación y protección de ecosistemas relevantes.

Cuando el modelaje de conectividad se fundamenta en el grado de fricción o dificultad para la conexión entre áreas núcleo, es posible obtener las redes de conectividad. Esto funciona como un insumo importante para la planificación urbanística y territorial, para la definición de corredores biológicos y zonas de amortiguamiento, para la creación de corredores funcionales mixtos (agricultura, ganadería, forestería, zonas urbanas y cobertura natural), entre otros (Arias et al, 2008).

5.4 Propuesta de red de conectividad

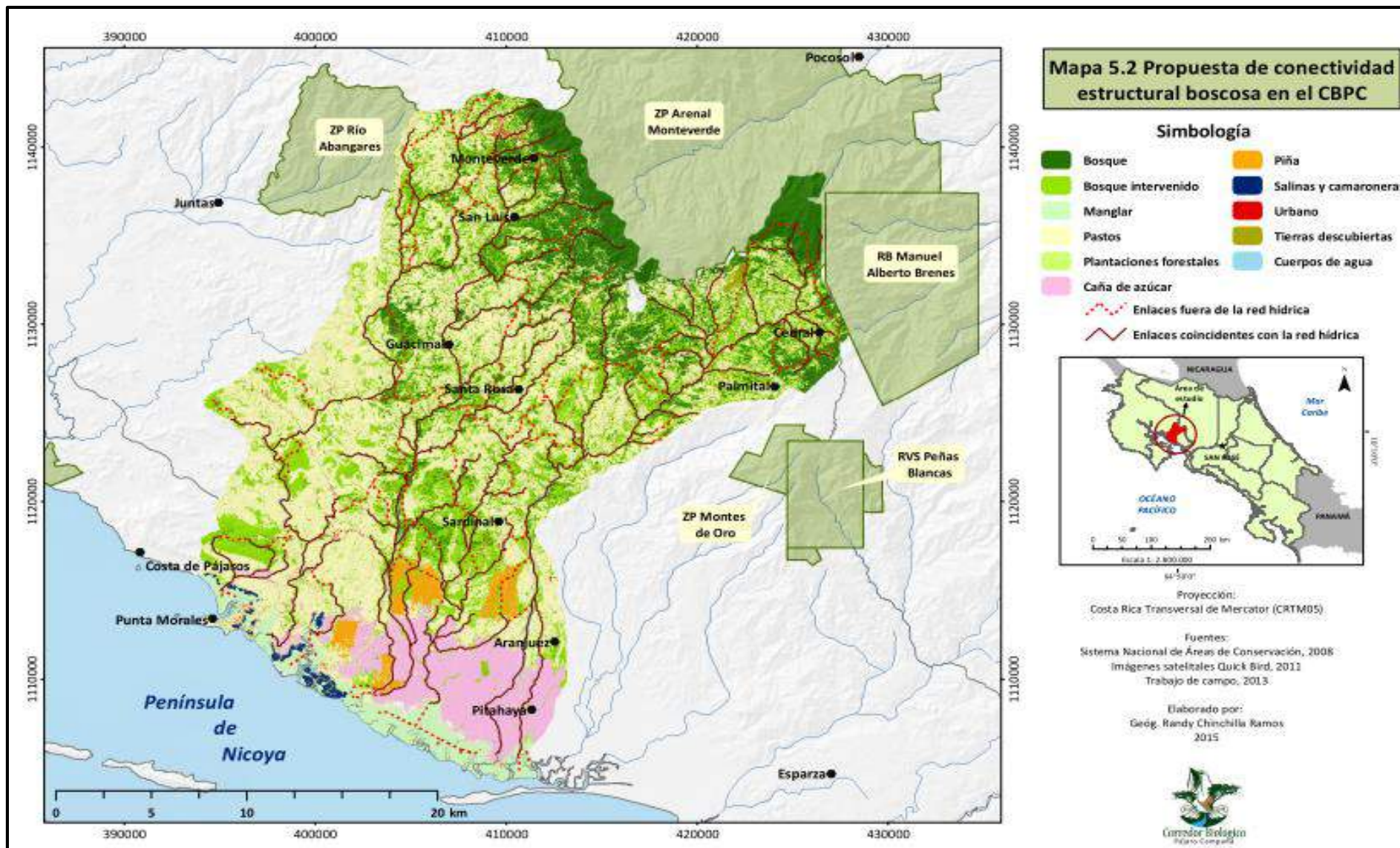
La conectividad se refiere a la capacidad de un paisaje en mantener el movimiento de organismos, genes, materiales o energía, a pesar de que, por lo general, el concepto está principalmente relacionado al movimiento de especies. Conectividad implica el enlace de hábitats, especies, comunidades y procesos ecológicos a escalas espaciales y temporales múltiples (Noss 1992).

Dos elementos fueron requeridos para elaborar la propuesta de conectividad estructural boscosa: la ubicación de los parches o núcleos boscosos y el costo de desplazamiento que enfrenta la biodiversidad para moverse por el corredor biológico. El mapa de conectividad se obtuvo utilizando las herramientas “*Cost Path*” y “*Cost Distance*”, identificando posibles conexiones a través de parches y buscando la menor ruta que unen dichos parches (Mapa 5.2).

Con esta red se busca favorecer procesos migratorios altitudinales, asegurar el mantenimiento de procesos ecológicos para evitar el aislamiento de ecosistemas y la incorporación de la sociedad a la conservación de la biodiversidad.

La red de conectividad estructural boscosa abarca una extensión de **618 km**, de los cuales 425 km (68,77%) coinciden con la red hídrica, mientras que 193 km (31,23%) conecta parches boscosos a través de cortinas rompevientos, cercas vivas, plantaciones forestales y otros espacios con menor costo al desplazamiento.

Del total de núcleos identificados en esta propuesta de red, se lograron conectar **987** parches boscosos: 169 en la cuenca alta, 405 en la cuenca media y 355 en la cuenca baja. La efectividad de la red es de un 81% afirmando el hecho de que los núcleos boscosos entre más grandes y menos aislados estén, la probabilidad de que sean conectados es mayor (Cuadro 5.1).



Cuadro 5.1 Total de núcleos boscosos conectados por la red de conectividad

Núcleos boscosos	CBPC	Cuenca alta	Cuenca media	Cuenca baja
Totales	1,213	179	485	549
Núcleos conectados	987	165	405	355
Núcleos no conectados	226	14	80	194
Porcentaje de efectividad	81%	92%	83%	64%

Fuente: Elaboración propia

En la parte alta, la red de conectividad conecta parches boscosos a través de los ríos, remanentes boscosos y cercas vivas y cortinas rompevientos que son utilizadas en su mayoría como límites entre fincas o como una medida para disminuir el impacto del viento en algunos sectores afectados por la velocidad y frecuencia de las ráfagas de viento (Figura 5.5).

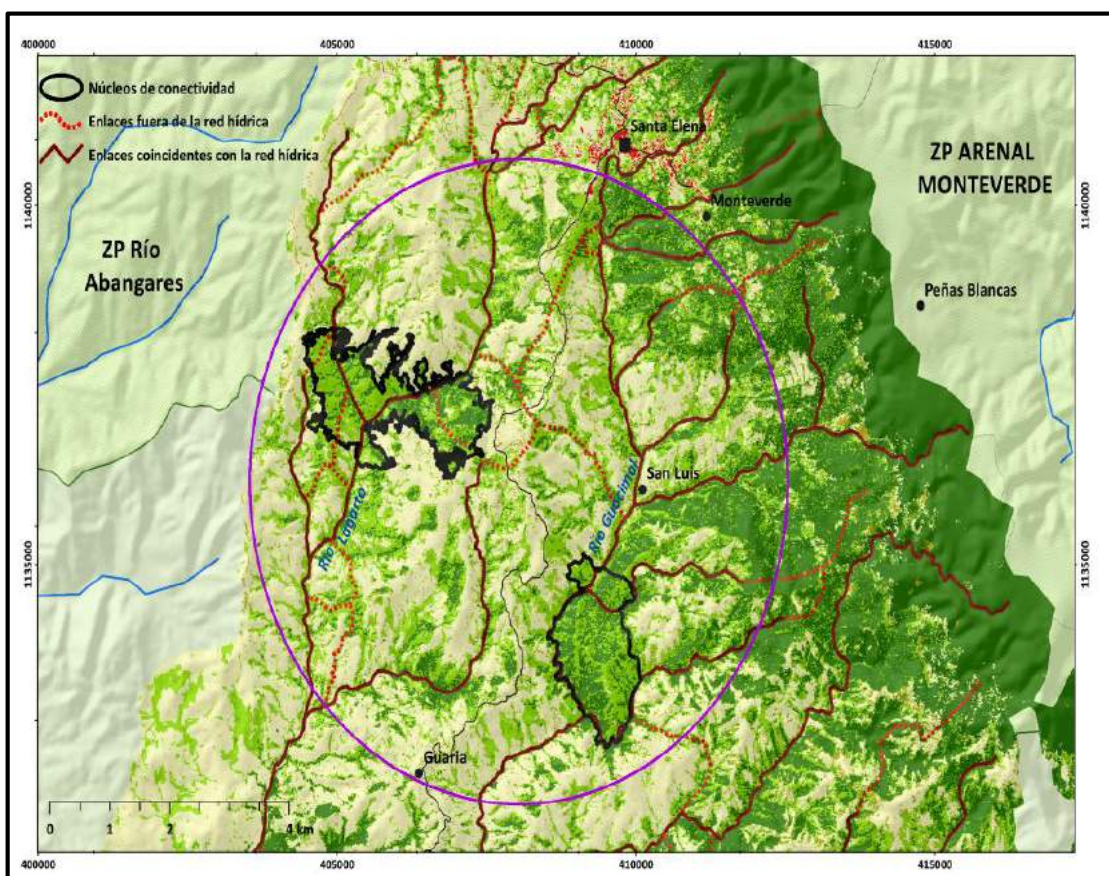


Figura 5.5 Red de conectividad estructural boscosa, sector noroeste del CBPC.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 5.6 se observa parte de la red de conectividad del sector noroeste, nótese que la red de conectividad que no coincide con los ríos se desplaza por cercas vivas, remanentes boscosos (parches ubicados en las cimas o laderas montañosas). Se logra conectar la Finca Mengel y la Reserva Biológica San Luis a través de una red que se desplaza a ambos lados de las cuencas de los ríos Lagarto y Guacimal.

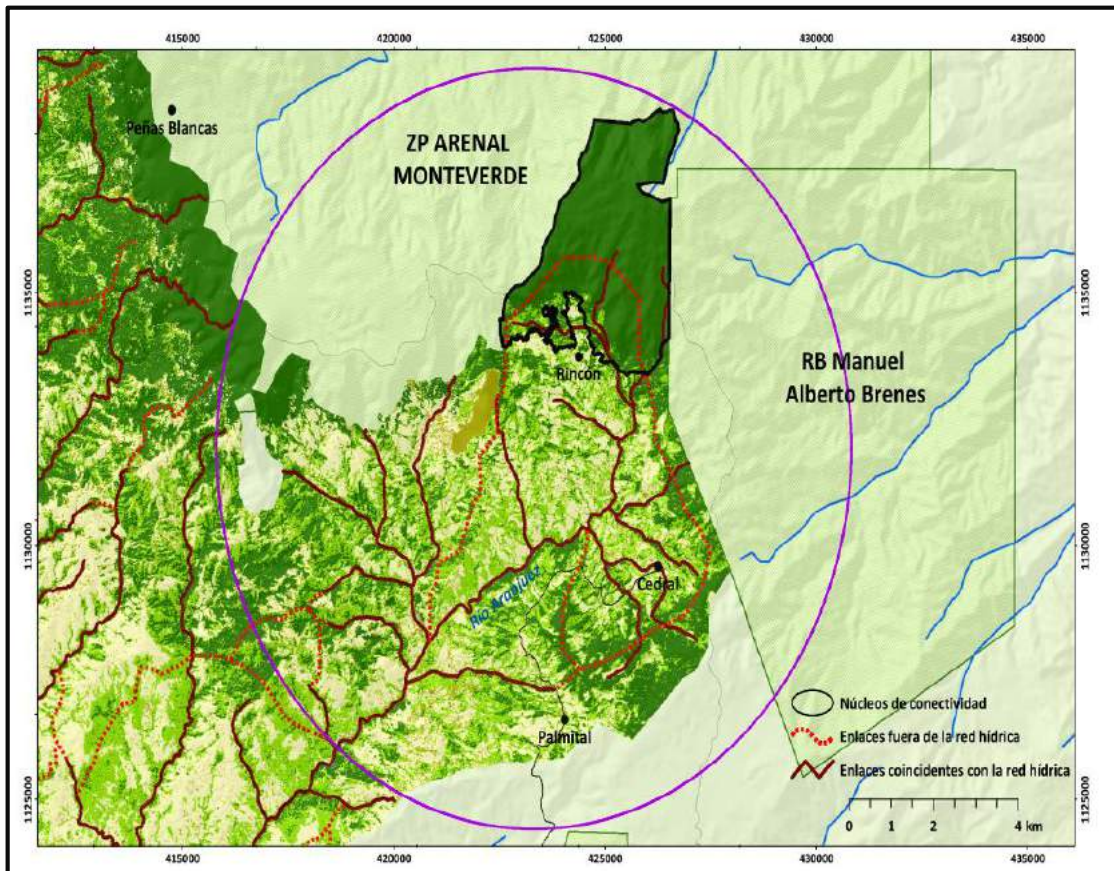


Figura 5.6 Red de conectividad estructural boscosa, sector noreste del CBPC.

Fuente: Elaboración propia

En la parte media existe conectividad entre importantes núcleos boscosos. Es un área crítica, que debe tener especial manejo, ya que representa sitios potenciales para aumentar la conectividad estructural entre bosques primarios y en regeneración. A la vez, es una zona muy deforestada, en especial hacia el sur de la Reserva Biológica San Luis y al suroeste de Finca Mengel (Figura 5.7).

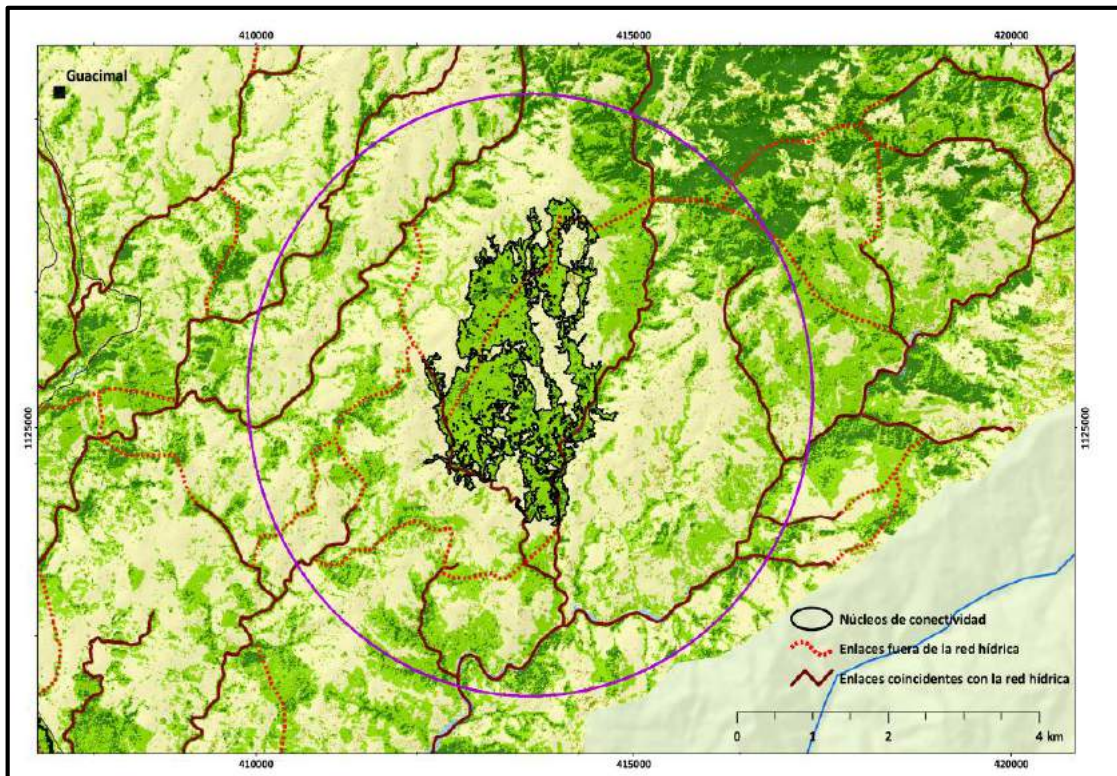
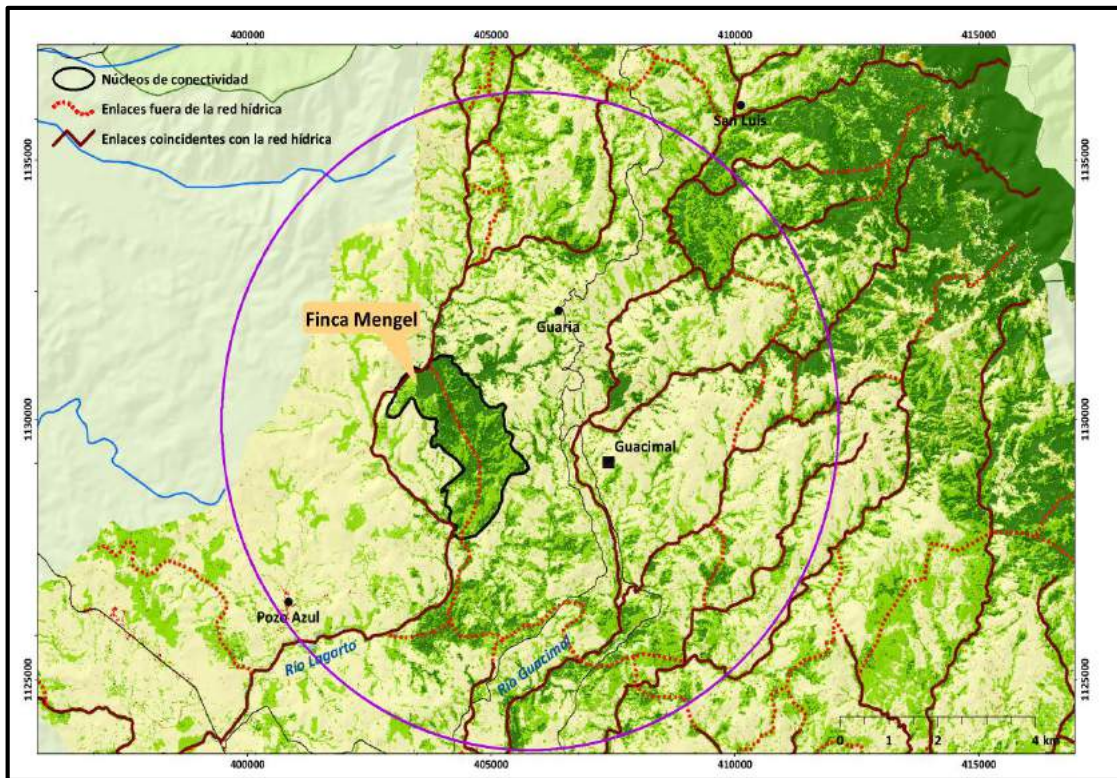
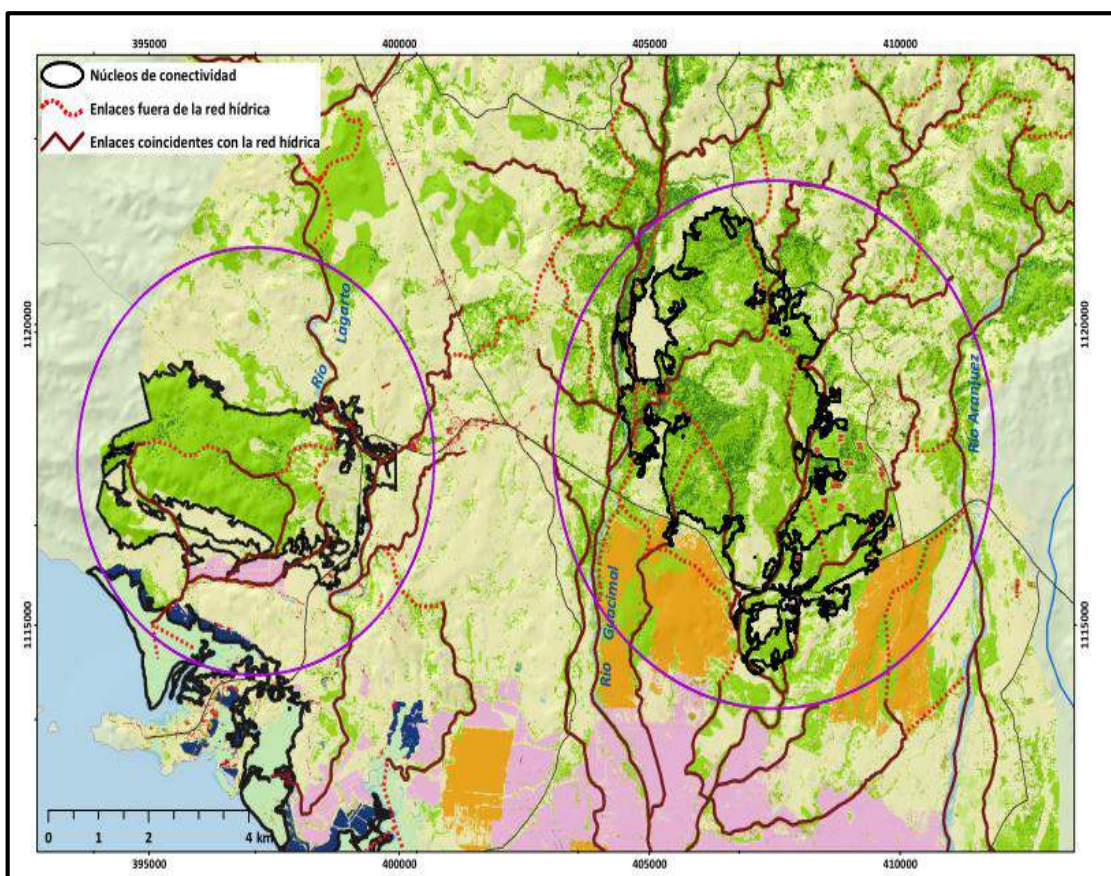


Figura 5.7 Redes de conectividad estructural boscosa, sector medio del CBPC.
 Fuente: Elaboración propia

En la parte baja, los enlaces están confinados a la red hídrica, pues como se ha reiterado a lo largo de esta investigación, la intensidad del uso de la tierra en estas áreas impide la conectividad fuera de la cobertura boscosa presente en riberas de ríos. Por ejemplo, en Pitahaya existe un parche boscoso de 31 hectáreas que no pudo ser incorporado a la red, ya que está prácticamente rodeado de cultivos de piña (Figura 5.8).

En estas zonas es preciso implementar estrategias de restauración y conectividad más puntuales y con participación de los productores de cultivos a gran escala, ya que es una zona de alta biodiversidad con una alta vulnerabilidad ecosistémica.



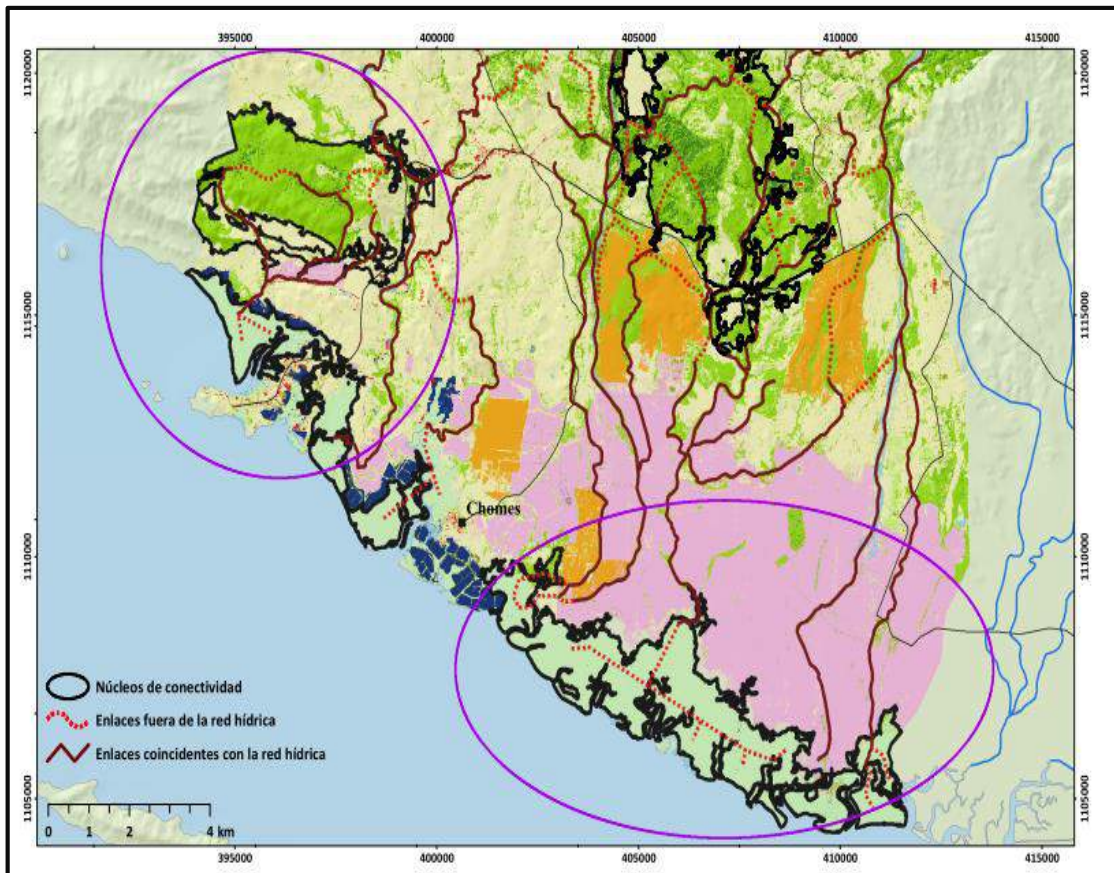


Figura 5.8 Redes de conectividad estructural boscosa, sector bajo del CBPC.

Fuente: Elaboración propia

A partir de las rutas de conexión se pueden seleccionar parches de bosque para los que pueden ejecutarse acciones de restauración ecológica para mejorar su forma, en función de aumentar el hábitat interior de estos y la conectividad en el paisaje, sin ser necesario excluir las actividades productivas en la zona (Ramos, 2004).

Es importante indicar que esta propuesta de red de conectividad estructural boscosa es un punto de partida, que debe ser validado en campo. La validación debe contemplar el análisis social para que la propuesta integre acciones de conservación en función de las comunidades que habitan el Corredor Biológico.

En todo proceso dirigido al ordenamiento integral de los territorios es fundamental la participación de la sociedad civil que en ellos habita, siendo importante considerarlos en

varias etapas del proceso de construcción de este tipo de herramientas y en la validación de los escenarios propuestos tanto técnica como socialmente. Debido a que estas propuestas metodológicas y los resultados de este tipo de investigación van dirigidos a los tomadores de decisión dentro de estos territorios, en este caso, del Corredor Biológico Pájaro Campana. Aunque en el presente estudio, por la limitante de tiempo no fue posible la integración de los actores clave, los resultados se presentan como un aporte hacia la búsqueda de este tipo de herramientas.

Capítulo VI Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- El Corredor Biológico Pájaro Campana es un territorio con alta integridad eco-sistémica, que articula actores y promueve acciones integradas que lleven a restablecer y mantener la conectividad biológica, la conservación de los recursos naturales y el bienestar de las comunidades locales.
- Esta investigación evidenció que el trabajo en equipo por parte de la red de actores que integran el Corredor estimula la coordinación activa entre Organizaciones, Instituciones públicas/privadas y grupos de base local, que contribuye a la gestión participativa del Corredor.
- También se evidenció que el nivel de participación e involucramiento comunal está consolidado en Monteverde, no ocurre lo mismo en comunidades intermedias y costeras. Aunque hay disposición de las personas de ser partícipe del Corredor, aún falta más apropiación del proyecto por parte de estas comunidades.
- Las técnicas de Teledetección y SIG que se aplicaron son altamente efectivas para el levantamiento del uso de la tierra en grandes extensiones de terreno y presentan importantes niveles de exactitud. La matrix de confusión indica que el nivel de confianza de la clasificación supervisada realizada en ENVI 4.7 promedia el 90% de confianza en todas las categorías de uso de la tierra.
- Se demostró mediante el método de Saaty de Jerarquías Analíticas que las Evaluaciones Multicriterio permiten un análisis integral del paisaje. Las variables analizadas de forma integral y objetivamente permitió la delimitación de las áreas con niveles bajos de conectividad estructural boscosa.

- Del análisis del uso de la tierra se concluye que la cobertura boscosa representa casi el 50% del total del área, sin embargo el patrón de distribución de dicha cobertura es irregular, concentrándose en la cuenca alta e intermedia. La cobertura boscosa de la cuenca baja corresponde mayoritariamente a bosque de manglares protegidos.
- La diversidad de usos de la tierra en la cuenca intermedia y baja es mayor probablemente por las condiciones topográficas y ambientales. En la cuenca baja se localizan las plantaciones agroindustriales de caña de azúcar y piña, restringiendo la cobertura boscosa a riberas de ríos, pequeñas franjas de bosque y algunos parches aislados.
- El análisis de fragmentación permite distinguir en las cuencas alta, media y baja las siguientes características. La parte alta está influenciada por las acciones de conservación y protección de la ZPAM y la serie de Reservas privadas administradas por Organizaciones conservacionistas. Los parches boscosos ubicados en esta zona son los de mayor tamaño, se encuentran más cercanos unos de otros, generando la mayor conectividad estructural y por consiguiente una menor fragmentación.
- La cuenca intermedia y baja presenta niveles de fragmentación mayores asociados al desarrollo de actividades agrícolas antes mencionados, por lo tanto los parches boscosos tienen menor un tamaño (promedio de 13.26 ha) y están más aislados unos de otros (promedio de 7.68 km).
- En cuanto al marco jurídico, se evidencia un irrespeto a lo estipulado en la Ley Forestal 7575 en cuanto a la protección de la cobertura boscosa en riberas de ríos, nacientes de agua y al cambio de uso de la tierra.
- La propuesta de red de conectividad está basada en una serie de criterios cuyos valores deben mejorarse. Esto solo se logrará con una constante toma de datos e investigación.

Por lo tanto, esta red de conectividad está enfocada en la conservación y restauración a partir de la identificación de los parches boscosos y la ruta de menor desplazamiento.

Recomendaciones

- En cuanto a la metodología seguida en esta investigación los resultados serán de gran utilidad si se mejora la calidad, resolución y escala de análisis de las imágenes satelitales. Se recomienda obtener una sola imagen satelital para toda la extensión del Corredor.
- Es conveniente realizar ajustes en la delimitación del CBPC. En la parte norte es necesario corregir los límites con respecto a la Zona Protectora Arenal Monteverde y al Bosque Eterno de los Niños. En el suroeste, es estratégico incorporar al sector comprendido entre Costa de Pájaros y el Refugio de Vida Silvestre La Ensenada, ya que tanto la comunidad como esta Área Silvestre Protegida ya son parte del proceso.
- Se recomienda involucrar a las comunidades ubicadas en el sector costero e intermedio dentro de las estrategias de conservación y protección de los recursos naturales mediante un empoderamiento de las organizaciones comunitarias que ya existen en la zona.
- Es necesario buscar mecanismos de acercamiento con los dueños de las propiedades y productores de caña de azúcar, piña y otros cultivos para incorporarlos a las acciones de conservación y protección del Corredor.
- Para lograr mejor exactitud del análisis de fragmentación y conectividad es importante contar con mayor precisión de los datos ecológicos y biológicos. Por ejemplo, es necesario contar con datos de especies indicadores como el pájaro campana, el quetzal o el pájaro sombrilla.

- Las redes de conectividad deben ser validadas en campo y por las comunidades. El aporte, conocimiento y experiencia de las organizaciones comunitarias es fundamental en el éxito de estrategias de restauración y conservación.

- Es necesario que se dé un seguimiento a la información obtenida a partir de esta investigación y que se desarrollen otras investigaciones a nivel social económico y biológico sectorizando el Corredor para obtener información más detallada, en beneficio del Corredor.

Bibliografía

- Acuña, M., Villalobos, D. & Ruiz, K. 2000. **El cluster ecoturístico de Monteverde/Costa Rica**. Centro Internacional de Política Económica, Universidad Nacional, Heredia.
- Acuña, G. 2006. **Producción de piña en Caribe y Pacífico Sur de Costa Rica**. Revista. Ambientico, N° 158. En: <http://www.ambientico.una.ac.cr/pdfs/ambientico/158.pdf> Recuperado el 30 setiembre de 2013.
- Araque, A. 2012. **Sistema de información geográfica para la mejora de la gestión y la toma de decisiones difusa en entornos oleícolas**. Departamento de Informática, Universidad de Jaén, España.
- Arias, E., Chacón, O., Herrera, B. Induni, G., Acevedo, H., Coto, M., Barborak, J. (2008). **Las redes de conectividad como base para la planificación de la conservación de la biodiversidad: propuesta para Costa Rica**. Rev. Recursos Naturales N 54, CATIE.
- Arroyo, N. y León, J. 2010. **Desarrollo histórico del sector agroindustrial de la caña de azúcar en el siglo XX: Aspectos económicos, institucionales y tecnológicos**. Informe para discusión. IICE, Universidad de Costa Rica
- Asamblea Legislativa. 1976. **Ley de Planificación Urbana N° 4240**, San José, Costa Rica.
- Asamblea Legislativa. 1996. **Ley Forestal N° 7575**, San José, Costa Rica.
- Asamblea Legislativa. 1998. **Ley de Biodiversidad N°7788**, San José, Costa Rica.
- Baltodano, A. & Zamora, J.C. 2010. **Estrategia para la consolidación de la conectividad en un sector del Corredor Biológico San Juan-La Selva: un esfuerzo para preservar las rutas de migración en los ecosistemas mesoamericanos**. Práctica Dirigida para optar por el grado de Licenciatura en Geografía. Escuela de Geografía, Universidad de Costa Rica.
- Barredo, J. y Gómez, M. 2005. **Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio**. 2da Edición, MA-GA Editorial, Madrid.
- Benavidez, M.J. 2008. **Evaluación del análisis de fragmentación con base en imágenes TM y fotografías aéreas en Sarapiquí, vertiente Atlántico Norte, Costa Rica**. Tesis sometida a consideración para optar al grado de Magíster Scientiae. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica.
- Bennett, A. 1999. **Linkages in the landscape: the role of corridors and connectivity in wildlife conservation**. IUCN, Suiza. 254 p.
- Bennett, A. 2004. **Enlazando el paisaje. El papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre**. UICN- Unión Mundial para la Naturaleza. San José Costa Rica.
- Bergoeing, J.P. 1982. **Geomorfología de algunos sectores de Costa Rica, basada en la fotointerpretación de imágenes del satélite Landsat, en la banda espectral MMS 7**. Informe semestral julio-diciembre, Instituto Geográfico Nacional, Costa Rica.
- Bergoeing, J.P. & Brenes, L.G. 2007. **Práctica de la Geografía**, 1 ed. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- Bilio, M., Saborío, A. & Hernández, A. 1999. **Los manglares, los camarones y el desarrollo de las áreas costeras en el Istmo Centroamericano**. Centro de Investigaciones del Camarón, Universidad Centroamericana, Nicaragua.

- Bolaños, K. 1984. **Formación Bagaces**. En: Sprechmann, P. (Ed): Manual de Geología de Costa Rica Vol 1-Estratigrafía: 165-169.
- Burel, F. y Baudry, J., 2002. **Ecología del Paisaje. Conceptos, métodos y aplicaciones**. Ediciones Mundi-Prensa. España.
- Camacho, F. & Chinchilla R. 2013. **Informe técnico para la ubicación de pasos de fauna en la Carretera Nacional 606 Guacimal – Monteverde, Puntarenas**. Universidad de Georgia, Monteverde, Costa Rica.
- Campos, J.J., Céspedes, M., Delgado, L.D., Finegan, B., Herrera, B., & Velázquez, S. (2008). **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**. Rev. Recursos Naturales N 54, CATIE.
- Canet, L. 2007. **Herramientas para el diseño, gestión y monitoreo de Corredores Biológicos en Costa Rica**. Tesis para optar por el grado de Magister Scientiae en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Cartago.
- Canet, L. 2008. **Corredores Biológicos: una estrategia para la conservación y el desarrollo sostenible**. Programa de investigación y gestión de corredores biológicos, CATIE.
- Centro Científico Tropical (CCT). 2005. **Plan de Manejo de la Reserva Biológica Bosque Nuboso Monteverde**. Monteverde, Puntarenas.
- Céspedes, M., Finegan, B., Herrera, B., Delgado L.D., Velázquez, S. y Campos, J.J. 2008. **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**. Rev. Recursos y Ambiente, N 54. CATIE.
- Chará, J.; Giraldo, L.P.; Chará-Serna, A.M.; Pedraza, G.; Camargo, J.C. 2011. **Beneficios ambientales y sociales de los corredores riberiños**. Serie microcuencas de Montaña, Fundación CIPAV, Cali 8p.
- Chuvieco, E. 2008. **Teledetección ambiental, la observación de la Tierra desde el espacio**. 3 Edición. Barcelona, España.
- Corredor Biológico Pájaro Campana. Oduber, José (Editor). 2011. **Plan estratégico del Corredor Biológico Pájaro Campana 2011-2016**.
- Cruz, C. & Guevara, N. 2011. **Monitoreo de mamíferos no voladores en la Reserva Biológica San Luis, Monteverde, Costa Rica**. Práctica Profesional en Ing. Manejo Forestal y Vida Silvestre, Universidad Técnica Nacional.
- Denyer, P., Aguilar, T. & Alvarado, G. 2003. **Geología y estratigrafía de la hoja Barranca**. Rev. Geol. Amér. Central, 29: 105-125.
- Denyer, Montero, W. & Flores, K. 2005. **Apuntes sobre la geología de las hojas Golfo y Berrugate, Costa Rica**. Rev. Geol. Amér. Central, 32:99-108.
- Flores, K.; Denyer, P. & Aguilar, T. 2003. **Geología y estratigrafía de la hoja Abangares, Guanacaste, Costa Rica**. Rev. Geol. Amér. Central, 29: 127-136.
- Forman, R. y Godron, M. 1986. **Landscape Ecology**. John Wiley and Sons; New York.
- García, H. 2002. **Biología de la conservación: conceptos y prácticas**. Costa Rica. 166 p.

- Garrigues, R. & Dean, R. 2007. **Birds of Costa Rica, a field guide**. 1era Edición, Cornell University Press
- Guindon, L.; Moss, M.; Rockwell, M. 2001. **Monteverde Jubilee Family Album. 50 years growing and spreading our roots**. 1 Ed. Asociación de Amigos de Monteverde.
- Hall, C. 1984. **Costa Rica una interpretación geográfica con perspectiva histórica**. San José: Editorial Costa Rica.
- Hamilton, D.; Molina, V; Bosques, P.; Powell, G. 2003. **El estatus del pájaro campana (*Procnias tricarunculata*): un ave en peligro de extinción**. Rev. Zeledonia 7: 15-24.
- Harvey, C & Sáenz, J. (Editores). 2008. **Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica**. 1 Edición, Instituto Nacional de Biodiversidad. Santo Domingo, Heredia.
- Hctor, T; Carr, MH; Zwick, PD. 1999. **Identifying a linked reserve system using a regional landscape approach: The Florida ecological network**. Conservation Biology 14(4): 984-1000.
- Holdridge, Leslie. 1971. **Ecología basada en zonas de vida**. IICA. San José.
- Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC). 2011. **Censo Nacional de Población, 2011**.
- Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR). 2008. **Atlas Geográfico 2008**.
- Jiménez, A. 1994. **Bosques de manglares en la costa pacífica de América Central**. Rev. Forestal Centroamer. 3:13-17.
- Jiménez, J.E. & Díaz, J.A. 2011. **Análisis de la vegetación y flora vascular de la Reserva Biológica San Luis, Puntarenas, Costa Rica**. Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional, Heredia.
- Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA). 2013. **Resultados agroindustriales finales de la zafra 2012-2013**. Rev. Conexión N° 7. En: <https://www.laica.co.cr/media/docs/estadisticas/Zafra2012-2013.pdf>. Recuperado el 02 de octubre de 2013.
- Lücke, O. **Base conceptual y metodológica para los escenarios de ordenamiento territorial**. En: Dengo, O. et al. 1999. Escenarios de Ordenamiento Territorial en Costa Rica para el Año 2025.MIDEPLAN-BID. San José, Costa Rica. 80p.
- Mata, A. y Quevedo, F. 2005. **Diccionario didáctico de Ecología**. 2 Edición. Editorial de la Universidad de Costa Rica, San Pedro, Costa Rica.
- McGarigal, K. & Barbara, M. 1995. **FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure**, Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest, Research Station. 122 p. USA.
- Miller, V. 2008. **Utilización de sensores remotos para determinar cambio de uso de la tierra en Costa Rica: caso del Área de Conservación Osa (1992-2005) y del Área de Conservación Tempisque**. Informe de Práctica de Especialidad para optar por el grado de Bachiller en Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 1995. **Metodología para la determinación de la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica**. San José, Costa Rica.
- Murrieta, E. 2006. **Caracterización de cobertura vegetal y propuesta de una red de conectividad ecológica en el Corredor Biológico Volcánica Central-Talamanca**. Tesis

sometida a consideración para optar al grado de Magíster Scientiae. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica.

- Noss, R. 1992. **The Wildlands Project, Land Conservation Strategy**. Wild Earth, Special Issue, pp. 10-25.
- Piedrahíta, C. 2013. **Lineamientos técnicos para la planificación de la adaptación al cambio climático en áreas funcionales para la conservación de la biodiversidad**. Tesis sometida a consideración para optar al grado de Magíster Scientiae. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica.
- Ramos, Zayra. 2004. **Estructura y composición de un paisaje boscoso fragmentado: Herramienta para el diseño de estrategias de conservación de la biodiversidad**. Tesis sometida a consideración para optar al grado de Magíster Scientiae. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica.
- Richards, J.A. 1999. **Remote Sensing Digital Image Analysis**, Springer-Verlag, Berlin, p. 240.
- Rodríguez, Johnny. 2003. **Comparación de métodos para la detección del cambio del uso de la tierra, con imágenes de satélite en el Área de Conservación Cordillera Volcánica Central de Costa Rica**. Trabajo final propuesto para el Master Internacional en Sistemas de Información Geográfica. Universtat de Girona, España.
- Salas, E., Salazar, E. & Arias, A. (Edis). 2012. **Diagnóstico de áreas marinas protegidas y áreas marinas para la pesca responsable en el Pacífico costarricense**. Fundación MarViva. San José, Costa Rica. 174 pp.
- Sandner, G. 1962. **Investigaciones geográficas, la colonización agraria de Costa Rica**. San José, Costa Rica. Solórzano, R., de Camino, R., Woodward, R., Tosi, J., Watson, V., Vázquez, A., Villalobos, C., Jiménez, J., Repetto, R. & Cruz, W. 1991. **Accounts overdue: natural resource depreciation in Costa Rica**. Tropical Science Center, San José, Costa Rica and World Resources Institute, Washington D.C.
- Smith, J.; Finegan, B.; Sabogal, M.; Ferreira, G.; González, S.; Van de Kop, P. y Díaz, A. 2001. **Management of secondary forests in colonist swidden agriculture in Peru, Brazil and Nicaragua**. Pág. 263-278 en Palo, M., Uusivuori, J. y Mery, G. editores. World Forests, Markets and Policies, Kluwer, Dordrecht.
- Stiles, G y Skutch, A. 2003. **Guía de aves de Costa Rica**. 3 ed. Instituto Nacional de Biodiversidad, Santo Domingo de Heredia, Costa Rica.
- Turner, M., Gardner, R. & O'Neill, R. 2001. **Landscape Ecology in theory and practice: pattern and process**. Springer. New York.
- USDA Soil Survey Staff. 2010. **Keys to Soil Taxonomy**. 11th Edition, Washington, USA. Natural Resources Department of Agriculture. United States, Department of Agriculture.
- Vargas, Alexis. 1993. **El ordenamiento territorial y los cambios en el uso de la tierra en Costa Rica**. Revista de Agronomía Costarricense, 20(1), 86-96, San José.
- Valpreda, E. 2004. **Evaluación de la aptitud del medio para receptor proyectos agrícolas en áreas de agricultura intensiva. Valle de Uco, Mendoza, Argentina**. Trabajo final de maestría del Programa UNIGIS de Postgrado y Máster Internacional a distancia en SIG, Universidad de Girona.

- Vázquez, M.J. 2011. **Evaluación socio-ambiental de la actividad piñera en el distrito de Pitahaya, Puntarenas.** Práctica Profesional en Gestión Ambiental, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional, Heredia.
- Vega, E & Vega, M. 2002. **Determinación del costo de oportunidad y clasificación por clases de capacidad de uso (CCU).** Informe 1 del proyecto Bioindicadores, Instituto Nacional de Biodiversidad, Heredia, Costa Rica.
- Villalobos, A. 2006, agosto 5. **“Guacimal: Un Pueblo que Nació a la Orilla de la Tubería”.** Diario Extra. Pág. 14. Segunda Sección.
- Villate, R.; Canet, L.; Chassot, O. & Monge, G. 2009. **El Corredor Biológico San Juan-La Selva: una estrategia exitosa de conservación.** The Nature Conservancy. 1 Edición, Centro Científico Tropical, Turrialba, Costa Rica.
- Villegas, A. 1997. Geodinámica de la Cordillera de Tilarán, relación entre la vulcanología y la tectónica. Tesis de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Geología. Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica.
- Welch, J. 2007. **CB Monteverde-Golfo de Nicoya, Análisis biofísico, descripción socioeconómica y resumen de costos del proyecto.** Informe final, Instituto Monteverde.
- Wheelwright, N. y Nadkarni, N. (editores). (2014). **Monteverde: ecología y conservación de un bosque nuboso tropical.** Bowdoin's Scholars' Bookshelf. Book 3.
- Záček, V.; Vorel, T.; Kycl, P. & Huapaya, S. 2012. **Geología y estratigrafía de la hoja 3246-II Miramar, Costa Rica.** Rev. Geol. Amér. Central, 47: 7-54.
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación SINAC. 2009. **Plan Estratégico del Programa Nacional de Corredores Biológicos de Costa Rica para el quinquenio 2009-2014.** San José, C.R. 40p.