

**UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES**

**PROPUESTA DE RED DE CONECTIVIDAD ECOLÓGICA EN
EL CORREDOR BIOLÓGICO RÍO NOSARA**

Trabajo de graduación sometido a consideración del Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional para optar por el grado de Licenciatura en Ciencias Forestales con énfasis en Manejo Forestal.

Modalidad: Proyecto de Graduación

JULIO EMERSON ROJAS ELIZONDO

Heredia, Costa Rica

2019

Resumen

En esta investigación se desarrolló un análisis para determinar el nivel de fragmentación, conectividad boscosa, composición y estructura del paisaje en el Corredor Biológico Río Nosara, Guanacaste, Costa Rica, con el propósito de diseñar una red de conectividad ecológica estructural a través del corredor.

La metodología del trabajo se compone de tres fases principales: la primera consiste en la recopilación de información para determinar las principales características biofísicas y socioeconómicas del corredor biológico, utilizando principalmente UGM proporcionadas por el INEC. La segunda fase se compone de un análisis de conectividad y fragmentación boscosa, el cual se realiza a través de cuatro variables relacionadas directamente con los fragmentos de bosque: cantidad, extensión, índice de forma y distancia mínima promedio entre fragmentos. La tercer fase se basa en el establecimiento de la red de conectividad ecológica estructural a través del corredor. Para esto se desarrollaron tres etapas principales: identificación de parches prioritarios o áreas silvestres protegidas a conectar, la definición y procesamiento en SIG de los niveles de resistencia al desplazamiento y por último el modelado de la red de conectividad, que se compone por rutas entre parches prioritarios que fueron generadas a través de las herramientas Cost Distance y Cost Path, del SIG.

Entre los principales resultados, se determinó que en el corredor biológico existen dos actividades socioeconómicas principales: turismo y agropecuaria, las cuales generan dinámicas distintas y que están marcadas por características biofísicas como pendientes y precipitación. Además, un porcentaje alto de área con bosque que se encuentra agrupado en la cuenca media del corredor, sin embargo, existen fragmentos pequeños en la cuenca alta y baja, los cuales se encuentran bajo presión debido a otros usos del suelo. Por último, se determinó que existe un total de siete fragmentos de bosque prioritarios a conectar dentro del corredor y tres ASP colindantes las cuales fueron conectadas a través de la red propuesta.

Ante esto, se concluye que el modelo de gestión del CBRN permite generar estrategias que promuevan conectividad ecológica estructural, sin embargo, para esto se recomienda contar con herramientas en constante actualización que permitan un adecuado proceso de toma de decisiones a nivel de corredor biológico.

Palabras clave: conectividad ecológica, río Nosara, corredor biológico, fragmentación.

Dedicatoria

A mi madre, por ser apoyo incondicional desde el inicio.

Al abuelo, que siempre estará con nosotros.

Agradecimientos

Quiero agradecer al equipo de trabajo del CBRN por creer en mí.

A mi comité de tesis, Emel Rodríguez, Heiner Acevedo y Jose Castro. Por sus constantes y atinados consejos y observaciones en pro de mejorar el trabajo.

A Randy Chinchilla y Michael Arroyo por sus consejos técnicos en SIG.

A Diana, por su paciencia, cariño y apoyo.

A Lety y Belén, por ser el perfecto reflejo de la palabra hermandad.

A Julio Barquero, por ser el mejor ejemplo de amistad.

A la profesora Marielos Alfaro, por haber sido mi mentora durante los años universitarios.

Tabla de contenidos

I. Introducción	1
II. Justificación	4
III. Objetivos	6
1.1 Objetivo General	6
1.2 Objetivos específicos.....	6
IV. Marco Teórico	7
4.2 Conectividad	8
4.3 Ecología a escala de paisaje	10
4.4 Corredores biológicos en la estrategia de conservación.....	11
4.5 Técnicas SIG: Evaluación Multicriterio.....	13
V. Marco Metodológico	15
5.1 Introducción	15
5.2 Caracterización socioeconómica y biofísica del CBRN.....	15
5.3 Análisis de conectividad y fragmentación boscosa a través de SIG	16
5.4 Establecimiento de la red de conectividad entre cuenca alta y baja del CBRN	18
5.4.1 Identificación de fragmentos prioritarios y áreas silvestres protegidas a conectar	18
5.4.2 Definición de niveles de resistencia al desplazamiento por parte de la vida silvestre	19
5.4.3. Modelado de la red de conectividad ecológica.....	22
VI. Resultados	23
Capítulo 1. Caracterización socioeconómica y biofísica del CBRN	23
Componentes biofísicos en el CBRN.....	23
Componentes Socioeconómicos del CBRN	29
Antecedentes históricos en el Corredor Biológico Río Nosara	29
Características de la población	30
Capítulo 2 Análisis de conectividad y fragmentación boscosa a través de SIG	36
Análisis de uso del suelo del Corredor Biológico Río Nosara	37
Análisis sobre la cantidad de fragmentos de bosque presentes en el CBRN.....	45
Análisis sobre el tamaño de fragmentos de bosque presentes en el CBRN	47
Distribución del área boscosa dentro del paisaje.....	51
Análisis del índice de forma.....	52
Análisis de distancia mínima promedio entre fragmentos de bosque	54
Capítulo 3 Establecimiento de la red de conectividad entre cuenca alta y baja del CBRN .	56
Identificación de fragmentos prioritarios y áreas silvestres protegidas a conectar	57
Definición de niveles de resistencia al desplazamiento por parte de la vida silvestre	61

Modelado de la red de conectividad ecológica	71
VII Conclusiones	76
VIII Recomendaciones.....	78
Bibliografía	80

Índice de figuras

Figura 1 Corredor Biológico Río Nosara	24
Figura 2 Precipitación media anual CBRN	25
Figura 3 Zonas de Vida Corredor Biológico Río Nosara.....	26
Figura 4 Pendientes en porcentaje, CBRN.....	27
Figura 5 Formaciones Geológicas en el CBRN	28
Figura 6 Total de población por distrito en el CBRN en el 2018.....	31
Figura 7 Estructura de población en el CBRN	32
Figura 8 Nivel de escolaridad de la población CBRN	33
Figura 9 Finca ganadera en el CBRN.....	34
Figura 10 Publicidad turística en el centro de Nosara.....	36
Figura 11 Superficie según uso del suelo en el CBRN	37
Figura 12 Uso del suelo CBRN.....	38
Figura 13 Cultivos de naranja en el CBRN.....	39
Figura 14 Zonas ganaderas en la cuenca alta del CBRN	40
Figura 15 Finca ganadera en la cuenca media del CBRN	41
Figura 16 Plantación de arroz en la cuenca media del CBRN	42
Figura 17 Plantación de teca (<i>Tectona grandis</i>) en el CBRN.....	43
Figura 18 Construcción de edificio domiciliar en Nosara.....	44
Figura 19 Manglares en la desembocadura del Río Nosara	45
Figura 20 Cobertura boscosa en la cuenca alta del CBRN.....	48
Figura 21 Cobertura boscosa en la cuenca media CBRN	49
Figura 22 Cobertura boscosa en la cuenca baja CBRN.....	50
Figura 23 Distancia mínima promedio entre centroides de bosque en el CBRN.....	55
Figura 24 Núcleos de bosque prioritarios en la cuenca alta del CBRN	58

Figura 25 Núcleos de bosque prioritarios en la cuenca media del CBRN	59
Figura 26 Núcleos de bosque prioritarios en la cuenca baja del CBRN	60
Figura 27 Zona con bajo costo de desplazamiento para especies	62
Figura 28 Niveles de resistencia a desplazamiento según cercanía a ríos en el CBRN	64
Figura 29 Niveles de resistencia a desplazamiento según cercanía a carreteras en el CBRN.....	65
Figura 30 Niveles de resistencia a desplazamiento según cercanía a poblados en el CBRN.....	66
Figura 31 Niveles de resistencia a desplazamiento según cercanía a ASP en el CBRN.....	67
Figura 32 Niveles de resistencia al desplazamiento según uso del suelo en el CBRN	68
Figura 33 Niveles de resistencia a desplazamiento en el CBRN.....	69
Figura 34 Propuesta de conectividad ecológica estructural en el CBRN.....	72
Figura 35 Propuesta de conectividad ecológica en el CBRN (Cuenca Alta)	73
Figura 36 Propuesta de conectividad ecológica estructural en el CBRN (Cuenca media).....	74
Figura 37 Propuesta de conectividad ecológica estructural en el CBRN (Cuenca Media)	75

Lista de Acrónimos

ACT: Área de Conservación Tempisque

ASP: Área Silvestre Protegida

CB: Corredor Biológico

CBPC: Corredor Biológico Pájaro Campana

CBRN: Corredor Biológico Río Nosara

EMC: Evaluación Multicriterio

GCF: Guanacaste Community Fund

INEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos

ITCR: Instituto Tecnológico de Costa Rica

MINAET: Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones

NCA: Nosara Civic Association

ONG: Organización No Gubernamental

PNCB: Programa Nacional de Corredores Biológicos

SIG: Sistema de Información Geográfica

SINAC: Sistema Nacional de Áreas de Conservación

UGM: Unidades Geoestadísticas Mínimas

UNAFOR: Unión Nacional Agroforestal

I. Introducción

Los bosques tropicales han sido uno de los principales afectados por la fragmentación del paisaje (Kattan 2002) y por esto son considerados prioridad a escala global en temas de conservación, gestión de la ecología de paisaje y conectividad de bosques, principalmente debido a la alta biodiversidad, la alta variabilidad en cuanto a estructura ecológica, microclima, incluso diversas funciones económicas (Louman, Quirós y Nilsson 2001).

Un proceso de fragmentación puede provocar la reducción de los fragmentos remanentes de bosque y un aumento considerable en el aislamiento de los mismos en un área determinada, dando como consecuencia la pérdida de especies a nivel local o regional y alterando los procesos ecológicos (Arias et al. 2008).

Los procesos de fragmentación y pérdida de hábitat están relacionados con condiciones principalmente agropecuarias y con la dinámica socioeconómica de estas actividades, además de otros efectos que aún no se conocen a profundidad (Finegan y Bouroncle 2008). Además, el cambio del uso del suelo de cobertura boscosa a pastizales y potreros con fines de producción agropecuaria a gran escala, como uno de los principales factores de fragmentación del bosque, además del impacto que la fragmentación genera al microclima, reduce el área del hábitat, lo que provoca un aislamiento progresivo de los fragmentos de bosque, causando incluso extinciones locales de especies de flora y fauna (Sánchez-Rojas y Rojas-Martínez 2007).

A raíz de esta problemática surge la importancia de la conectividad como estrategia de enlace entre hábitats, que según Bennet (2004) es un tema clave para la conservación de la biodiversidad y mantener las funciones ecológicas de los bosques, especialmente en sitios donde ha existido impacto causado por seres humanos. Por ello es importante comprender cómo la conectividad a escala de paisaje puede intervenir en el desplazamiento de las especies y cómo el papel de los corredores biológicos ha ido tomando un papel de importancia en la gestión de la misma en las comunidades.

A través del tiempo, dentro de la gestión de la conectividad ecológica bajo el modelo de corredor biológico, se han desarrollado estrategias concretas que buscan disminuir el impacto ecológico directamente relacionado con temas de fragmentación de bosques, entre ellos la migración de especies, dispersión, variabilidad genética y respuesta al cambio climático, por ejemplo, Bennet y Mulongoy (2006) mencionan la importancia del diseño de rutas de conectividad, como una de las principales estrategias que contribuyen a reducir el impacto de los cambios que se han mencionado.

En Costa Rica, la cobertura forestal del país, que alcanza el 52,4% de la superficie, y está siendo paulatinamente afectada desde 1987 por la pérdida de áreas boscosas, especialmente en bosques maduros, lo que hace necesario fomentar procesos de conectividad, principalmente entre áreas protegidas (Programa Estado de la Nación 2016).

Ante la problemática descrita, en Costa Rica, el Programa Nacional de Corredores Biológicos (PNCB) nace como iniciativa del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) en el año 2006, el cual se encarga de gestionar la protección ante la pérdida de hábitat causada por la fragmentación (SINAC 2008).

En Guanacaste específicamente, el proceso histórico de pérdida de cobertura forestal de las últimas décadas (Monge-Nágera 2004) ha propiciado una articulación entre instituciones, organizaciones locales y sociedad civil que trabajan en conjunto para manejar de manera adecuada los recursos naturales locales (Salazar et al. 2007).

Ejemplo de esto es el Corredor Biológico Río Nosara (CBRN), el cual se encuentra en el sector central de la Península de Nicoya, el CBRN está comprendido en la cuenca del Río Nosara, que tiene territorio en los cantones de Santa Cruz, Nicoya y Hojancha; cuyas comunidades principales son: Pilangosta, Nosara, Belén, La Virginia, Gamalotal y Santa Marta de Nosara (Fernández, Loban y Pinel, 2010) y en el cual tienen acción instituciones públicas y organizaciones comunitarias relacionadas con el uso y buen manejo de los recursos naturales (Salazar et al. 2007).

Por lo tanto, este trabajo pretende entonces unirse a ese esfuerzo comunitario en pro de una adecuada planificación y gestión del manejo de los recursos naturales, otorgando una herramienta que permita tomar decisiones y enfocar esfuerzos en el tema de conectividad estructural y recuperación del paisaje forestal del CBRN.

Para este estudio, se considerarán diversas metodologías, por ejemplo, para la caracterización biofísica y socioeconómica se utilizará la metodología de Chinchilla (2015), aplicada en la investigación que propone una red de conectividad para el Corredor Biológico Pájaro Campana.

Una de las investigaciones que han servido como antecedente para este trabajo es la desarrollada por Céspedes (2006) donde propone la red de conectividad entre la Reserva de la Biosfera La Amistad y las áreas protegidas del Área de Conservación Osa, que ha servido como punto de partida para la fase III de la metodología de esta investigación, donde determina la forma para diseñar la red de conectividad.

Por una parte, el CRBN ha trabajado desde lo interno a través de las ONG y empresas cooperantes, gestionando fondos para poder realizar consultorías que permitan generar conocimiento e información que sea de utilidad para mejorar la gestión de los recursos naturales dentro del corredor.

Por otra parte, las ASP que tienen relación directa con el CBRN (Zona Protectora Monte Alto, Parque Nacional Diriyá y el Refugio Nacional de Vida Silvestre Ostional) han trabajado en sus respectivos planes de manejo, los cuales cuentan con un enfoque hacia el trabajo conjunto con las zonas de amortiguamiento de las ASP y comunidades vecinas, generando también información que justifica la importancia de establecer una propuesta de red de conectividad ecológica debido a la biodiversidad que se encuentra en dichas áreas.

II. Justificación

El PNCB es considerada una estrategia de desarrollo que busca el fortalecimiento de las áreas silvestres protegidas y sus áreas de conectividad; como parte de este programa, el CBRN basa sus principios de trabajo, en una articulación de actores y esfuerzos que permita promover conectividad en los ecosistemas, protección de la biodiversidad y un adecuado aprovechamiento de los recursos naturales.

Para esto, el CBRN cuenta con un documento técnico que orienta su trabajo; este documento indica que los esfuerzos por parte de los actores deberán estar dirigidos en cuatro principales ejes: Educación Ambiental, Producción Sostenible, Uso Racional y Gestión del Recurso Hídrico así como Biodiversidad y Conectividad de los Bosques. Dentro de este último se enmarca esta investigación, procurando ser un aporte valioso para los tomadores de decisiones y las comunidades en general.

Dentro del trabajo que se realiza en el eje de Biodiversidad y Conectividad de los Bosques, está el análisis de conectividad ecológica, los vacíos de conservación y por ende las zonas prioritarias para intervenir, ya sea reforestando o promoviendo el flujo de energía y especies entre fragmentos de bosque. Esto se hace por diversas razones, entre ellas se encuentran: aportar con la conservación de la biodiversidad del país, la cual representa aproximadamente un 5% de la biodiversidad mundial (SINAC 2007), promover la disminución de la fragmentación del paisaje dentro de la cuenca debido principalmente por la conversión de terrenos con bosque a tierras dedicadas a la ganadería o a la agricultura extensiva, que a pesar de los esfuerzos que se han hecho en el país por conservar, según Murrieta (2006) continúa en aumento.

Al tener un corredor biológico como una de sus principales razones de ser, servir como conector de biodiversidad entre áreas silvestres protegidas, es importante mencionar que el CBRN debe propiciar la conectividad entre las tres ASP con las cuales tiene colindancia: Refugio Nacional de Vida Silvestre Ostional, Zona Protectora Monte Alto y el Parque

Nacional Diriá, por ello es importante establecer una estrategia adecuada de conectividad entre ellas.

Por su parte, esta investigación surge como una herramienta que permite guiar el proceso de gestión de la conectividad ecológica estructural dentro del corredor, dándole al CBRN una guía de dónde priorizar para realizar acciones de reforestación, restauración, protección del bosque y conservación, debido a la importancia que tiene la conectividad ecológica dentro de la estructura de un paisaje. Con el fin principal de proteger la biodiversidad y los diversos ecosistemas naturales.

El análisis que será generado a partir de este trabajo se considera como la primera etapa en un proceso complejo de protección a la biodiversidad, ya que permite conocer cuáles son los sitios prioritarios para intervenir en temas de conservación; al terminar este proceso de priorización, otros esfuerzos en investigación pueden ayudar a determinar patrones propios de conservación sino también acciones necesarias para mantener poblaciones viables y procesos ecológicos sanos en los ecosistemas (Murrieta 2006).

Al gestionar estas acciones guiadas a partir de esta investigación, se promoverá la conectividad no solo entre áreas silvestres protegidas estatales, sino también reservas y otras modalidades de áreas protegidas privadas. Además de la protección y gestión de cobertura forestal, así como otros bienes ecosistémicos que representan el Río Nosara y sus afluentes, los cuales tienen importancia tanto a nivel biológico como también para riego y agua potable.

III. Objetivos

1.1 Objetivo General

Diseñar una red de conectividad ecológica estructural para el Corredor Biológico Río Nosara que contribuya con la estrategia de conservación de la biodiversidad.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar una caracterización biofísica y socioeconómica general de las condiciones actuales del Corredor Biológico Río Nosara para determinar oportunidades de gestión de conectividad ecológica según distintos factores.
- Determinar el grado de fragmentación y conectividad de los bosques del Corredor Biológico Río Nosara a través de un análisis de uso del suelo con el fin de conocer el estado de estructura y composición del paisaje.
- Elaborar una red de conectividad por medio de un análisis de costo de distancia entre los fragmentos de bosque para promover un manejo integral en el CBRN.

IV. Marco Teórico

4.1 Fragmentación

El término fragmentación, según Bennet (2004) se utiliza generalmente para describir los cambios que ocurren cuando segmentos considerables de vegetación son eliminados completamente, quedando únicamente segmentos pequeños separados unos de otros. Lo cual según Bierregaard et al. (2001) convierte a la fragmentación en una de las más importantes amenazas para la conservación de la biodiversidad en el mundo.

Un problema importante de la fragmentación de los ecosistemas es que crea efectos de borde en los fragmentos remanentes, creando transiciones abruptas entre el bosque y la matriz contigua (Kattan et al. 2002) efectos de borde que tienen la capacidad de extenderse incluso cientos de metros adentro de un bosque remanente (Peters, 2001), lo que puede repercutir en procesos ecológicos naturales como la dispersión de semillas, ciclo de nutrientes y relaciones depredador-presa (Bennet, 2004).

Esta afectación de procesos ecológicos puede provocar además, el aislamiento de individuos de su propia especie, provocando pérdida en la diversidad genética. Esta alteración le impide a las especies e individuos ser más resistentes a la adaptación y por ende puede terminar en posibles extinciones locales (Alonso et al. 2001).

Para Kattan et al. (2002) los mecanismos de extinción a escala de fragmento están relacionados principalmente con tres tipos de efectos: efectos de aislamiento, efectos de borde y efectos de área.

El efecto de aislamiento es una consecuencia fundamental en el proceso de fragmentación de los hábitats, determinándose como la menor oportunidad de desplazamiento de los animales hacia y desde otros hábitats (Bennet, 2004). Para Kattan et al. (2002) el grado de aislamiento puede ser una medida relativa que está en función de los organismos, y cómo estos deben interactuar con la matriz del paisaje.

El efecto de borde, por su parte, es una consecuencia que se considera inevitable en la fragmentación, y se define básicamente como la creación de líneas de transición abruptas entre los fragmentos de bosque remanentes y la matriz adyacente a estos (Kattan et al. 2002). Por su parte, la existencia del borde permite alteraciones tanto hacia afuera del parche de bosque, como hacia dentro del mismo (Murrieta, 2006).

Por último, el efecto de área, se refiere específicamente a la pérdida de especies, la cual se encuentra ligada con la disminución de la extensión de los hábitats y que está acompañada de la fragmentación propia del paisaje. Esto se refiere a que la probabilidad de persistencia de una especie depende del tamaño y de la dinámica poblacional relacionada con la diversidad de las especies (Kattan et al. 2002). De acuerdo con esto, y según Nason (2002) se da principalmente por la alteración de los procesos ecológicos anteriormente mencionados.

La fragmentación de los hábitats de bosque natural se da por múltiples razones, pero la principal se debe según Bennet (2004) a la conversión de tierras, especialmente para el desarrollo de la agricultura, lo que crea una matriz en el paisaje que evidencia la necesidad de establecer redes y estrategias para promover la conectividad y la biodiversidad.

4.2 Conectividad

De acuerdo con Bennett (2004), existen alrededor del mundo muchas situaciones en las que se han desarrollado proyectos que pretenden establecer redes de conectividad ecológica como estrategias de conservación, estas investigaciones y proyectos se agrupan en cinco categorías principales: enlaces de paisaje entre reservas naturales grandes, sistemas enlazados a escala regional, enlaces creados para manejo de los bosques y conservación, redes para la conservación de mamíferos grandes y redes locales de hábitats considerados lineales (asociadas principalmente con cercas vivas, carreteras, canales de irrigación, etc.).

En la región centroamericana, el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) ha desarrollado diversas investigaciones relacionadas con redes de conectividad, entre ellas la desarrollada por Murrieta (2006) desarrollando la red de conectividad ecológica

en el Corredor Biológico Volcánica Central, así como la investigación realizada por Ortega (2009) donde realiza una propuesta de red tomando en consideración no solo el bosque sino también paisaje agroforestal.

La conectividad se utiliza para describir cómo la composición de un paisaje afecta o beneficia el movimiento de organismos entre los hábitats, además de explicar cómo determinadas condiciones de un paisaje funcionan para organismos en particular, ya que cada especie cuenta con características de especialización y tolerancia a distintas condiciones ambientales (Bennet, 2004).

De acuerdo con Crooks y Sanjayan (2006) existen dos tipos principales de conectividad:

a. **Conectividad estructural:** Este tipo de conectividad describe principalmente las relaciones físicas del paisaje, como corredores o distancias entre fragmentos de bosques o hábitats en estudio, buscando incrementar la medida en que las relaciones físicas entre fragmentos de hábitats se fortalecen o se hacen más estrechas. Es decir, la conectividad estructural se puede entender como el arreglo y la disposición espacial de un territorio determinado.

b. **Conectividad funcional:** El aspecto más importante de la conectividad funcional es que comprende a los elementos del paisaje que influyen en el desplazamiento de los organismos entre los diferentes hábitats. Se puede decir, que el grado de conectividad funcional aumenta conforme incrementa el flujo de organismos en el paisaje. En muchos casos, estos cambios incluyen pero no precisamente se encuentran limitados a cambios en la conectividad estructural.

Para Ricketts (2001) la conectividad se puede determinar como algo más que la distancia entre fragmentos de bosque y que implica entonces la presencia de corredores biológicos entre estos fragmentos y cómo esta conectividad depende también de la resistencia de la matriz de paisaje alrededor a movimientos específicos de los individuos entre los fragmentos.

Las redes de conectividad estructural están compuestas por nodos o fragmentos de hábitats y unas estructuras lineales entre los mismos que se denominan redes, estos nodos y redes se encuentran dentro de una matriz y deben permitir el intercambio y flujo de organismos; cada nodo se considera un núcleo de dispersión o desplazamiento de especies, y esto depende de la distribución de los mismos en el paisaje (Burel y Baudry, 2002).

De acuerdo con Ortega (2009) la conectividad dentro del paisaje debe ser suficiente para que los animales puedan movilizarse para obtener los recursos que necesitan y con esto propiciar los efectos ecológicos que esto trae: dispersión de semillas, aumento de variabilidad genética, entre otros. Además, según Bennet (2004) los fragmentos que se encuentran unidos por un hábitat de desplazamiento adecuado tienen un mayor grado de valor ecológico, es por esto que se busca en los esfuerzos de conservación propiciar estos enlaces entre nodos e intentar mitigar a su vez, los efectos adversos que son provocados por la fragmentación de los hábitats.

4.3 Ecología a escala de paisaje

La ecología del paisaje basa su estudio en la interacción entre los componentes espaciales, temporales y ecológicos de un paisaje, reconociendo éste como un mosaico o conjunto de diferentes tipos de hábitats (Turner, Gardner y O'Neil, 2001). En la ecología a escala del paisaje, se estudia un área de usualmente kilómetros de extensión, que se compone de una matriz (tipo de cobertura con mayor presencia y con alta conectividad) en la cual se encuentran distintos fragmentos de tipos distintos de uso del suelo (Turner et al. 2001).

Para Bennet (2004) es necesario una ampliación del enfoque de conservación actual, basado en reservas aisladas y encontrar metodologías para mejorar la conservación de una manera eficiente por medio del manejo del paisaje, ya que la ecología a esta escala permite entender cambios en los ecosistemas que son causa de acciones antropogénicas y ambientales.

Según Murphy y Lovett-Doust (2004) los paisajes siempre son heterogéneos, principalmente a alguna escala temporal y espacial. Si son analizados desde el punto de vista estructural, los

paisajes son medios de conectividad donde también se convierten en fuente de recursos y movilidad para las especies, pero además están inmersos en un ambiente de desarrollo humano, tenencia de tierra, jurisdicción entre otros factores que hacen del manejo del paisaje un conjunto de estrategias que se enfocan en lograr conservación eficiente de manera equilibrada con el desarrollo socioeconómico.

De acuerdo con Murrieta (2006) existen 3 características a considerar cuando se hace estudio a nivel del paisaje: cambio, función y estructura. La estructura se refiere principalmente a la organización espacial de los diferentes ecosistemas dentro del paisaje y cómo estos se relacionan con respecto a variables como tamaño, forma, cantidad, tipos y configuración de los componentes. Por otra parte está la función, la cual está referida a las interacciones que se dan entre los elementos espaciales, por ejemplo, el flujo de organismos, energía y materiales entre ecosistemas. Por último, está el cambio, el cual está directamente relacionado con la perturbación de la estructura y de la función del paisaje a través del tiempo.

El punto de inicio en el tema de la ecología de paisaje es precisamente entender cómo las formas de distribución y espaciales de los mosaicos afectan los sistemas encargados de las funciones ecológicas de manera que puedan variar si la composición y los arreglos del mosaico fueran distintos (Turner et al. 2001). Es por esto, que nace como estrategia a nivel macro, los corredores biológicos, que se encargan de promover estos enlaces ecológicos dentro del paisaje.

4.4 Corredores biológicos en la estrategia de conservación

Los corredores biológicos en Costa Rica, se definen según la legislación, de la siguiente forma.

...es un territorio continental, marino-costero, e insular delimitado, cuyo fin primordial es proporcionar conectividad entre áreas silvestres protegidas; así como entre paisajes, ecosistemas y hábitat naturales o modificados, sean rurales o urbanos, para asegurar el mantenimiento de la biodiversidad y los procesos ecológicos y evolutivos; proporcionando

espacios de concertación y uso sostenible de la biodiversidad en esos espacios. (Artículo N°4 del Reglamento a la Ley de Biodiversidad, Decreto N°40043-MINAE).

Según García (2002) los corredores biológicos son áreas que difieren de la matriz del paisaje y conectan dos o más fragmentos de hábitat. Tienen como fin principal mantener la viabilidad de poblaciones entre fragmentos de hábitat, permitiendo el flujo de individuos entre fragmentos.

En la actualidad, se observa que los múltiples fragmentos de hábitat funcionan como un sistema interactivo que es eficaz para la conservación, siempre y cuando se mantengan los flujos naturales del paisaje, para esto es necesaria una conservación a largo plazo, compuesta por redes de hábitats tanto protegidos como no protegidos, que estén unidos por enlaces de paisaje (Aguilar, Aliphath, Caso, Del Amo, Sánchez y Martínez-Carrera, 2014)

De acuerdo con Feoli (2009) para el trabajo con corredores biológicos, la cuenca hidrográfica es la unidad espacial adecuada para un efecto de planificación y gestión. Además que permite analizar de manera estratégica las variables que se relacionan dentro de la misma y cómo se puede promover la conectividad ecológica.

Según su amplitud, la consolidación de un corredor biológico puede tomar años; ya que se trata de una propuesta de planificación territorial compleja y que la factibilidad de que sea exitosa depende del compromiso e interés de los actores involucrados, ya que en muchas ocasiones la compra de tierras no está contemplada y se utilizan otras estrategias, como lograr incidencia en los dueños de la tierra (García, 2002).

Desde el punto de vista de las áreas protegidas, los corredores biológicos presentan un oportunidad para lograr dispersión de animales y plantas de un área protegida a otra, dando capacidad de movilización para fenómenos ecológicos como la migración estacional de especies ya sea para apareamiento o alimentación, además de propiciar flujo genético y colonización de nuevo sitios (Primack, Rozzi y Feisenger, 1998).

4.5 Técnicas SIG: Evaluación Multicriterio

Según Gómez y Barredo (2005) se podría afirmar que existen actualmente muchas definiciones de lo que es un Sistema de Información Geográfica (SIG) y la certeza de cada una estará estrechamente relacionada con el contexto en que se esté trabajando. Sin embargo, hay términos teóricos que se convierten en elementos que todas las definiciones tienen en común: datos espaciales o datos espacialmente georreferenciados.

Estos datos son los que diferencian a los SIG de otros tipos de bases de datos especializados, ya que cuentan con características como localización (X, Y) y un tipo de caracterización temática en las cuales se establecen las bases para las operaciones que se pueden realizar en un SIG (Gómez y Barredo, 2005).

Dentro del trabajo que se realiza a través de los SIG, aparece una herramienta conocida como Evaluación Multicriterio (EMC) la cual se puede definir como un conjunto de técnicas específicas orientadas a ser un aporte en la toma de decisiones. De acuerdo con Conesa, Álvarez y Granell (2004) una adecuada valoración del territorio bajo distintos criterios (que en ocasiones se contraponen) se realiza a través de una EMC, la cual representa un método que enfrenta el problema de la preferencia o selección entre un conjunto de alternativas reales.

La EMC representa una oportunidad para la planificación territorial, ya que permite conocer y analizar un conjunto de alternativas enfocando en múltiples criterios y objetivos en conflicto, a que a partir de esto, es posible generar soluciones y jerarquizaciones de las distintas alternativas según el grado de atracción entre ellas (Gómez y Barredo 2005) y con esto orientar el trabajo que se realiza dentro del CBRN.

Es por esto que los SIG constituyen una importante herramienta en el proceso de análisis espacial a escala de paisaje, ya que las imágenes de percepción remota procesadas con tecnologías de SIG permiten tener una mejor interpretación para un diagnóstico ecológico de un área específica que ha sido intervenida de manera antrópica (Moizo, 2004).

Estas imágenes de percepción remota, después de ser procesadas en un SIG, permiten hacer una integración y un análisis de qué tan heterogéneo puede ser un espacio desde un formato digital, a través de escalas que van desde escalas locales a regionales, incluso a través del tiempo. Logrando con esto entender cuál ha sido el impacto antrópico del lugar y cómo se debe orientar el trabajo en gestión de los recursos naturales (Moizo, 2004).

De acuerdo con Ortega (2009) en el mosaico paisajístico, considerado como unidad territorial, existen elementos que constituyen la estructura y la configuración; estos elementos son: fragmentos, una matriz y corredores biológicos. Estos se pueden observar, cartografiar y cuantificar según distintos atributos.

V. Marco Metodológico

5.1 Introducción

El primer capítulo de resultados consiste en una caracterización general de las variables socioeconómicas y biofísicas del CBRN, lo cual permite conocer cómo estas variables se relacionan entre sí y cómo esto genera impacto en el área del CBRN.

Para el segundo capítulo se propuso realizar un análisis de la fragmentación y conectividad de los fragmentos boscosos del CBRN, para esto se consideraron cuatro criterios fundamentales en la elaboración de redes de conectividad: número de fragmentos de bosque, la extensión de los fragmentos, el índice de forma y la distancia mínima promedio entre fragmentos.

En el tercer capítulo se realizó el diseño de la red de conectividad, este diseño se basó en determinar la dificultad de desplazamiento, a partir de ciertos criterios propios del territorio que sea de interés para la investigación. Para el diseño propiamente se utilizaron tres fases: identificación de áreas protegidas a conectar, establecimiento de niveles de resistencia al desplazamiento para las especies y el modelado de la red, la cual está compuesta por diversas rutas de conectividad ecológica.

5.2 Caracterización socioeconómica y biofísica del CBRN

En este capítulo se siguió la metodología de caracterización de Chinchilla (2015), utilizada para conocer características biofísicas y socioeconómicas del Corredor Biológico Pájaro Campana. Dicha metodología será utilizada ya que ambos corredores tienen una estructura parecida no solo por estar manejadas bajo un modelo de manejo de cuenca, que integra tanto las comunidades y ecosistemas de zonas altas como de la costa pacífica dentro de su marco de gestión socioambiental, sino que presenta una organización estable y activa desde su comité local y organizaciones comunitarias.

Para la elaboración de este capítulo se obtuvo información de fuentes tanto primaria como secundaria, incluyendo información importante generada por organizaciones, instituciones y empresas que trabajen directamente relacionadas con el Corredor Biológico Río Nosara, entre ellas destaca la Nosara Civic Association (NCA) que ha llevado a cabo investigación y gestión en la cuenca con el fin de generar información y generar cambios positivos, además de organizaciones no gubernamentales (ONG) como la Fundación Reserva Agroecológica el Toledo (FUNDATOLEDO), Unión Agroforestal Chorotega (UNAFOR), Fundación Nicoyagua, el Fondo Comunitario Guanacaste (GCF), entre otras.

Aunado a lo anterior, este capítulo analizó cómo sectores económicos de importancia (agricultura y ganadería) dentro del CBRN juegan un papel importante actualmente y también a futuro, considerando las tendencias de cómo estos se visualizan para los próximos años; esto dio paso al posterior análisis de uso de suelo y fragmentación y cómo prevé que será su comportamiento en un corto y mediano plazo y cómo estas dos actividades podrían afectar.

Para la sección que comprende la caracterización biofísica, se utilizó información proporcionada principalmente de investigaciones realizadas por las organizaciones anteriormente mencionadas y academia. En el apartado de caracterización socioeconómica se partió de información principalmente otorgada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) la cual se trabajó a nivel de Unidades Geoestadísticas Mínimas (UGM), esta se considera como la más detallada a nivel de escala y es desarrollada para fines estadísticos.

5.3 Análisis de conectividad y fragmentación boscosa a través de SIG

El análisis de conectividad y fragmentación del CBRN se realizó siguiendo la metodología utilizada por Agathos Natura SRL (2016) para desarrollar modelos de redes y rutas de conectividad ecológica. Añadiendo un apartado al inicio del análisis que incluye los diferentes tipos de uso de suelo encontrados en el CBRN y su rol en el tema de conectividad ecológica. Esta metodología se compone principalmente del análisis de cuatro criterios basados principales en el uso de suelo correspondiente a bosque.

- Número de fragmentos: corresponden a los fragmentos de bosque que se encuentran dentro del CBRN, considera también su distribución en distintas categorías de bosque.
- La extensión de los fragmentos: esta se calculó a través de un SIG, se hizo a partir de la capa de uso de suelo del CBRN generada por la NCA (2017) a escala 1:15000, y se trabajó con una unidad mínima mapeable de 0.3 ha, esto indica que cualquier polígono inferior a esa área será “abosrbido” por el polígono mayor adyacente a este. La separación de los fragmentos en distintas categorías de área se hizo a través del software SPSS Statistics 23, esto permitió determinar si el área boscosa abarcada se encuentra dispersa o agrupada dentro del paisaje.
El tamaño de los fragmentos se considera un factor significativo a la hora de conservar una especie o un grupo de especies a escala local o regional, ya que una reducción en el tamaño de los fragmentos de bosque se considera una de las mayores causas de extinción de las especies (Wiersma y Urban 2005).
- Índice de forma: este índice se calculó según la fórmula que sugiere Mas y Sandoval (2000). Donde IF= Índice de forma. P= Perímetro. S= Superficie

$$IF = \frac{P}{2 * \sqrt{\pi * S}}$$

A través del programa SPSS Statistics se evaluó la correlación que existe entre el índice de forma y el tamaño del parche, a través de una correlación no paramétrica de Spearman (r_s). Esto sirvió para determinar si el tamaño de los fragmentos afecta de acuerdo a su forma en un posible mayor o menor efecto de borde.

La forma del fragmento determina principalmente el efecto borde, esto quiere decir que cuando se generan hábitats de borde, pueden generarse efectos en variables como temperatura, luz y humedad, lo que podría tener un efecto directo en la distribución y abundancia de las especies (López-Barrera, Armesto, William-Linera, Smith-Ramírez y Manson (2007).

- Distancia mínima promedio entre fragmentos de bosque: Este criterio se calculó con el software Fragstats, con el fin de conocer la proximidad entre los fragmentos de bosque. Con este criterio, se tiene una referencia de qué tan cerca se encuentran unos de otros y cómo afecta a la composición del paisaje.

5.4 Establecimiento de la red de conectividad entre cuenca alta y baja del CBRN

Para este capítulo, se siguió la metodología aplicada por Céspedes (2006) en el desarrollo de la red de conectividad entre la Reserva de la Biosfera La Amistad y las áreas protegidas del Área de Conservación Osa. Esta metodología está basada en determinar la dificultad de desplazamiento que puedan tener las especies según criterios específicos del área.

Para este diseño de red de conectividad ecológica estructural se siguieron tres fases principales:

- Se identificaron las áreas silvestres protegidas y fragmentos de bosque a conectar.
- Se determinó una clasificación de niveles de dificultad de desplazamiento para las especies.
- Se llevó a cabo el modelado de la red de conectividad ecológica a través del diseño de las diversas rutas de conectividad presentes en el CBRN.

5.4.1 Identificación de fragmentos prioritarios y áreas silvestres protegidas a conectar

Para este apartado se hizo una identificación de las zonas protegidas principales que se encuentran colindantes al CBRN, así como los fragmentos de bosque núcleo y de mayor extensión, que se consideren como puntos de conservación importantes.

Estas áreas de bosque fueron ubicadas geográficamente para conocer la relación que presentan con respecto a la matriz de paisaje dentro del CBRN, esto con el fin de determinar si existen zonas extensas de bosque que actualmente no se encuentren bajo un concepto de manejo para el fomento de la conservación de la vida silvestre y la gestión de la conectividad ecológica.

5.4.2 Definición de niveles de resistencia al desplazamiento por parte de la vida silvestre

De acuerdo con Bennett (2004) existen diversos factores que implican mayor o menor resistencia al desplazamiento de las especies, esto según la zona en la que se trabaje, estos factores poseen una relación entre sí que determina qué tan factible resulta para las especies poder moverse dentro del paisaje.

Los valores y criterios de resistencia al desplazamiento se hicieron basados en la metodología de Agathos Natura SRL (2016) para la determinación de rutas de conectividad ecológica para el Corredor Biológico Hojancha Nandayure, dichos criterios son: uso del suelo, red hídrica y su relación con la pendiente, cercanía a poblados, cercanía a ASP colindantes y red vial. Las respectivas capas que serán procesadas en el SIG. Las capas utilizadas provienen de: la capa de uso de suelo elaborada por la NCA (2017) y las capas: curvas de nivel 10m, red hídrica, centros poblados, red vial y áreas silvestres protegidas, del Atlas geográfico del ITCR (2014).

La asignación de valores de resistencia al desplazamiento para cada capa se hace tomando el vector base que corresponda según cada caso. Para los criterios correspondientes a poblados, vías, distancia a ASP, se realizaron zonas de amortiguamiento al polígono según la distancia establecida para cada uno (cuadro 1) y extrayendo “franjas” que posteriormente fueron reclasificadas en la siguiente etapa donde se asignan valores de fricción al ráster. El área que no está considerada dentro de las “franjas” tomará un valor de “0” ya que no se considerará como parte del cálculo posterior en la calculadora ráster.

En el caso del criterio correspondiente a uso del suelo, simplemente se agrupan los atributos correspondientes a cada uso y se les asigna un nuevo valor de fricción según el cuadro 1. Estos valores están determinados según la facilidad o dificultad que presentan las especies para moverse por el tipo de uso del suelo.

En el caso del criterio que corresponde a red hídrica, es el que lleva un mayor nivel de complejidad; para esta capa, se deben considerar dos “grupos” de buffer que se agrupan según la pendiente del terreno en la que se encuentran. Las pendientes menores a 45% tendrán un rango de amplitud que considera hasta 60m que se divide en 4 zonas buffer. Para las

pendientes mayores a 45% se considerará un área dividida en 4 buffer que se amplía hasta 200m. Cada una de estas áreas determinadas por buffer tiene un valor de fricción determinado que se asigna en la etapa siguiente del trabajo.

Cuadro 1 Categorización de los criterios que determinan la resistencia al desplazamiento de las especies en el paisaje utilizados en el Corredor Biológico Río Nosara

Atributo	Importancia (%)	Criterio	
		Categoría	Valor
Uso del suelo	25	Bosque, Manglar	1
		Tacotales	2
		Cultivos agrícolas/forestales, pastos y pastos con árboles dispersos	3
		Asentamientos humanos y suelo desnudo	4
Red hídrica	35	A partir de la ribera del río, hasta 15 m con pendiente <45% A partir de la ribera del río, hasta 50 m, con pendiente >45%	1
		A partir de 15 m de la ribera del río, hasta 30 m, con pendiente <45% A partir de 50 m de la ribera del río, hasta 100 m, con pendiente >45%	2
		A partir de 30 m de la ribera del río, hasta 45 m, con pendiente <45% A partir de 100 m de la ribera del río, hasta 150 m, con pendiente >45%	3
		A partir de 45 m de la ribera del río, hasta 60 m, con pendiente <45% A partir de 150 m de la ribera del río, hasta 200 m, con pendiente >45%	4
Distancia a carreteras	10	Distancia mayor a 200 m de alguna vía	1
		Distancia entre 150 m y 200 m de alguna vía	2
		Distancia entre 100 m y 150 m de alguna vía	3
		Distancia menor a 100 m de alguna vía	4
Distancia a centros poblados	10	Distancia mayor de 1000m de distancia a algún centro poblado	1
		Entre 500m y 1000m de distancia a algún centro poblado	2
		Entre 250 m y 500 m de distancia a algún centro poblado	3

		Distancia menor de 250 m a algún centro poblado	4
Distancia a ASP	20	Distancia entre 0 m y 100 m a alguna ASP	1
		Distancia entre 100 m y 200 m a alguna ASP	2
		Distancia entre 200 m y 300 m a alguna ASP	3
		Distancia mayor a 300 m de alguna ASP	4

Fuente: Adaptado de Agathos Natura SRL (2016)

De acuerdo con Céspedes (2006) un uso de suelo natural (bosques) genera un menor índice de resistencia para el desplazamiento de las especies, además que a mayor tamaño del parche de bosque, mayor disponibilidad de hábitat para las especies. Con respecto a la red hídrica, los ecosistemas cercanos a río, además de ser más vulnerables, representan un nivel de importancia alto para las especies, especialmente en temporada seca, ya que muchos de los cauces más pequeños se secan y esto obliga a los animales a moverse más en busca del recurso, por esto se ha considerado como la capa con mayor peso (importancia).

En el tema de la red vial, una mayor lejanía a las carreteras representa un hábitat más apto para los animales, por lo tanto la valoración se basa en un factor de distancia a la presencia de este criterio. Con respecto a los centros poblados, estos representan un espacio amenazado para la vida silvestre, caso contrario con respecto a las ASP, que entre más cercanía tenga un área a este tipo de cobertura, menor resistencia al desplazamiento de las especies (Céspedes 2006).

Cuadro 2 Descripción de usos del suelo presentes en el CBRN

Tipo de uso	Descripción
Bosque	“Ecosistema nativo o autóctono, intervenido o no, regenerado por sucesión natural u otras técnicas forestales, que ocupa una superficie de dos o más hectáreas, caracterizada por la presencia de árboles maduros de diferentes edades, especies y porte variado...” (Ley Forestal 7575). Esta categoría incluye bosque primario y bosque secundario.
Charral/Tacotal	“Zonas de uso agropecuario abandonadas, las cuales se encuentran sometidas a un proceso de regeneración natural sin alcanzar el estado de bosque” (Harvey y Sáenz 2008)
Cultivos	Áreas con cobertura vegetal dedicadas a algún tipo de cultivo. Esta categoría incluye plantaciones forestales.

Cuerpos de agua	Áreas que contengan agua en un nivel superficial. Llámese lagos, ríos o lagunas.
Manglar	Áreas con vegetación característica de las zonas de desembocadura de cauces de agua dulce (en zonas intermareal), zonas costeras o estuarios.
Pastos	Áreas cubiertas de pastizales con fines de producción pecuaria.
Pastos con árboles dispersos	Áreas provistas principalmente de cobertura herbácea con presencia de árboles aislados
Suelo desnudo	Áreas desprovistas de algún tipo de cobertura vegetal.
Asentamientos urbanos	Llámese viviendas, centros urbanos o cualquier otro tipo de infraestructura

Fuente: Con información de Harvey y Sáenz (2008), Ley Forestal 7575 y Ley de Planificación Urbana 4240.

5.4.3. Modelado de la red de conectividad ecológica

Para el modelado de la red de conectividad, se utilizó un software SIG que permitió determinar las líneas que representan las rutas de conectividad, esto basado en el principio de la generación de un modelo que permita la identificación del punto de inicio y final a través del paisaje según la resistencia al desplazamiento de las especies determinada en la capa generada en el capítulo anterior y relacionado directamente con los criterios seleccionados para la determinación de la conectividad. Esto se fundamenta en lo mencionado por Bennett (2004) donde indica que la idea fundamental de las redes de conectividad sea conectar fragmentos boscosos dentro del paisaje.

A través de la herramienta Cost Distance, del SIG, se generaron las rutas de menor resistencia al desplazamiento. Finalmente se calculó la distancia de las rutas de conectividad y por el tipo de uso en el que se encuentran, con el fin de analizar cuál será el panorama a futuro sobre el fomento a la conectividad ecológica dentro del CBRN.

Así, el marco metodológico de esta investigación conlleva un análisis integral del CBRN, permitiendo conocer la situación actual del CB en términos socioeconómicos y biofísicos, y como estos se relacionan entre sí, así como un estudio a nivel de paisaje que permite tener un punto de partida desde el punto de vista de planificación territorial y de conectividad ecológica, necesario para el buen desempeño del CBRN.

VI. Resultados

Capítulo 1. Caracterización socioeconómica y biofísica del CBRN

El conocimiento del entorno socioambiental donde se trabaja en investigación debe considerarse, ya que, aunado a características económicas tienen una influencia directa en el paisaje (Chinchilla 2015), lo cual puede generar un mayor o menor nivel de conectividad estructural.

Caracterizar una región es un elemento fundamental, ya que esto permite tener no solo conocimiento del paisaje o de los ecosistemas, si no que permite tener un adecuado punto de inicio para una planeación exitosa y una posterior evaluación. Es importante, a la hora de trabajar un sitio específico, conocer rasgos biofísicos, sociales, económicos e institucionales (Salazar et al. 2007).

Este paso se considera el primero a la hora de trabajar en la definición de una red de conectividad, ya que permite conocer sobre el uso de la tierra y el comportamiento de las personas desde el punto de vista económico y social, lo cual está estrechamente relacionado con fragmentación del paisaje (Chinchilla, 2015).

Componentes biofísicos en el CBRN

La ubicación del CBRN está comprendida entre las coordenadas 9°57'07'' y 10°10'56'' latitud norte, así como 85°42'02'' y 85°23'09'' longitud oeste. El área comprendida por el CBRN está determinada por la cuenca del Río Nosara, la cual se compone por tres subcuencas: Nosara, Montaña y Quebrada Seca. El CBRN pertenece a tres cantones de la provincia de Guanacaste: Nicoya, Hojancha y Santa Cruz, además, el Río Nosara desemboca en el Océano Pacífico (Hernández, 2010).

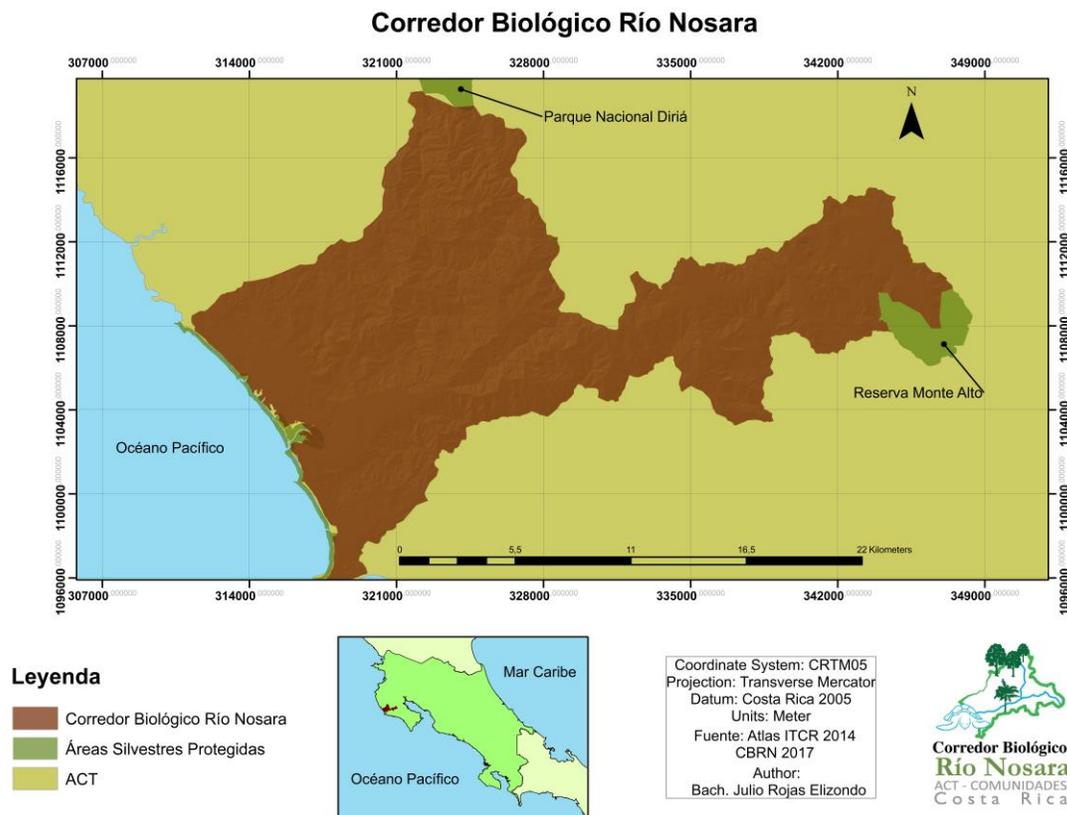


Figura 1 Corredor Biológico Río Nosara

Fuente: A partir de datos de la NCA (2017) e ITCR (2014)

Diversas características climáticas influyen dentro del CBRN, entre ellas la precipitación, la cual varía aproximadamente entre 1.500-3.000 mm, con una estación seca que va de enero a abril y una estación lluviosa de mayo a diciembre.

Según Monge-Nájera (2004) factores como la precipitación son determinantes en el comportamiento de la especie, ya que al tener una temporada seca y otra lluvia tan marcadas, es común que en la temporada seca muchos ríos se sequen, lo que provoca que muchos animales deban migrar hacia zonas donde esto no suceda. Es por esto, que conocer estas variables es un proceso indispensable a la hora de planificar y priorizar zonas para realizar manejo de recursos naturales.

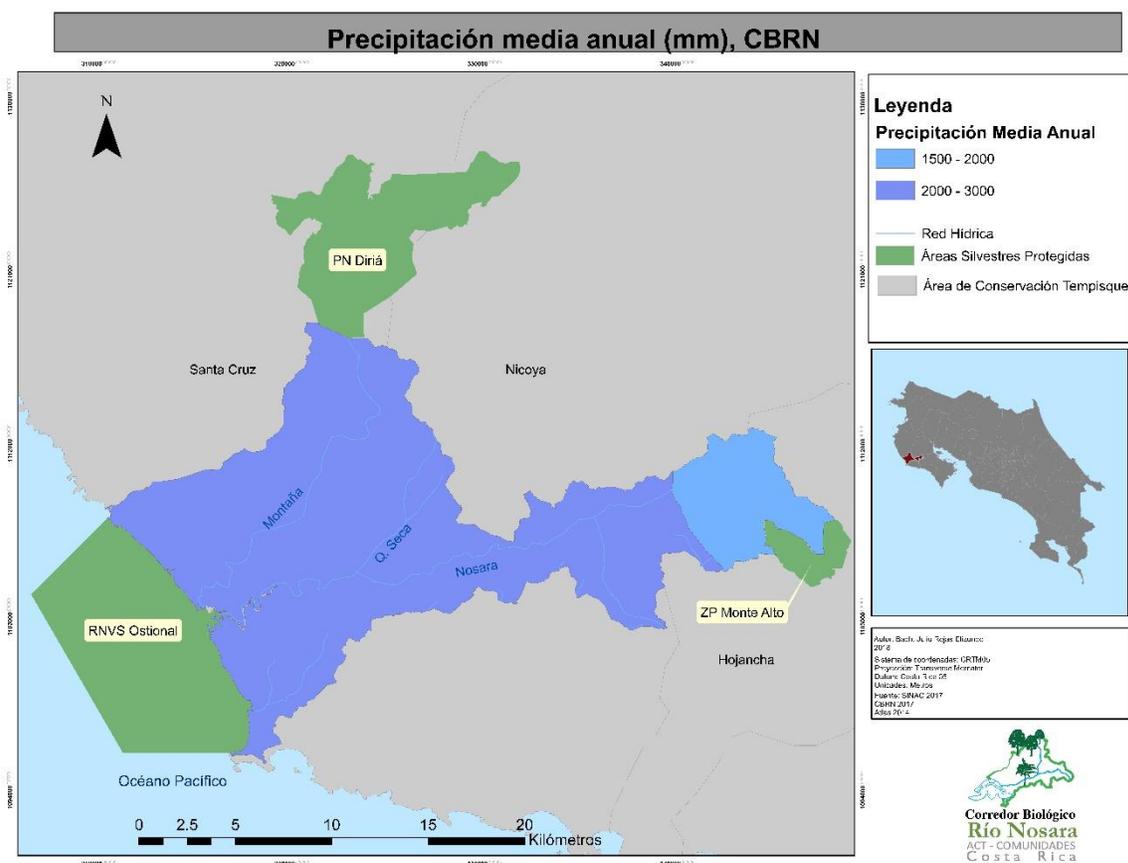


Figura 2 Precipitación media anual CBRN

Fuente: A partir de datos de la NCA (2017) e ITCR (2014)

El clima en el CBRN influye de una manera directa en cuanto a temas de vegetación, fauna e incluso actividades económicas. Según la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1967) en el CBRN hay dos zonas de vida, las cuales se detallan en el cuadro siguiente.

Cuadro 3 Zonas de vida en el Corredor Biológico Río Nosara

Zona	Nombre	Temperatura °C	Precipitación anual (mm)	Otras características
bh-T	Bosque húmedo tropical	24° - 30°	2.000 – 4.000	Conforma la mayoría del territorio del CB
bmh-P	Bosque muy húmedo premontano	18° - 24°	4.000 – 8.000	Se encuentra principalmente en las zonas altas del CBRN

Fuente: Chinchilla, 2015

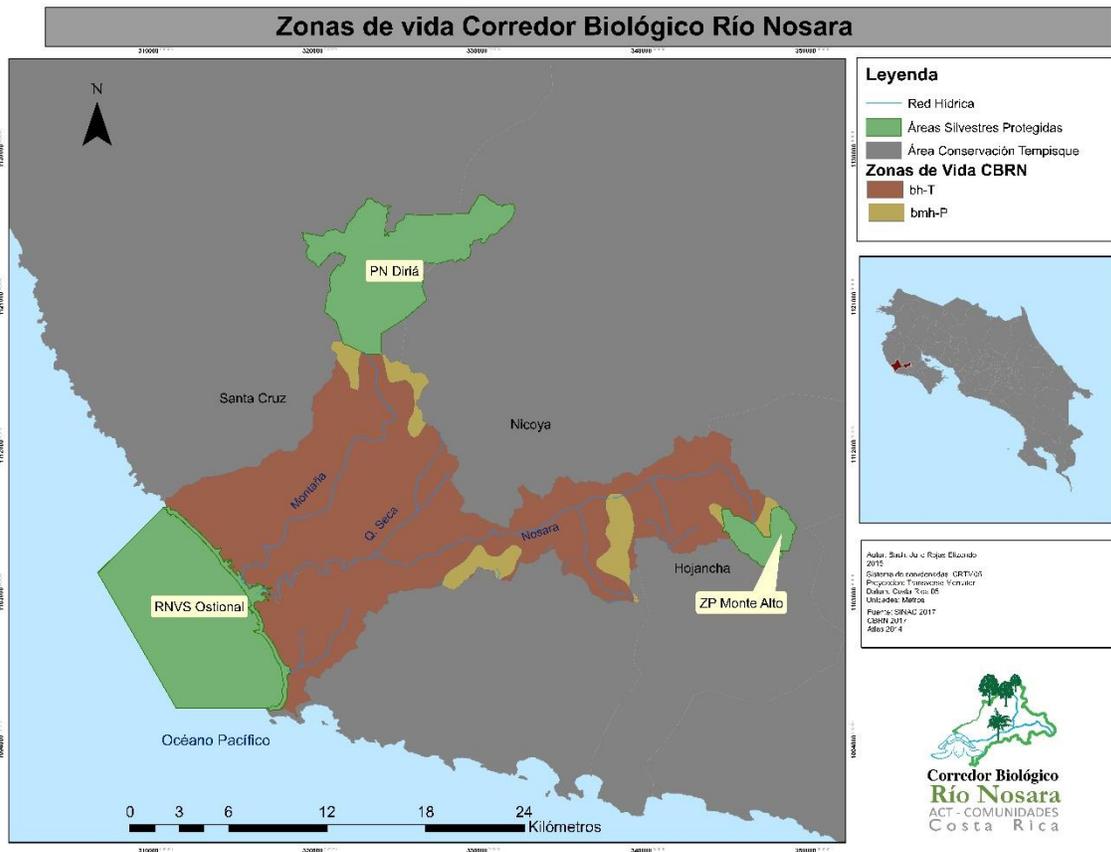


Figura 3 Zonas de Vida Corredor Biológico Río Nosara

Fuente: A partir de datos de la NCA (2017) e ITCR (2014)

La distribución espacial de las zonas de vida dentro del CBRN se puede relacionar directamente con la altitud, en las zonas altas de la cuenca (Monte Romo, Maravilla y en las cercanías del Parque Nacional Diríá) se presenta el bosque muy húmedo premontano, donde las temperaturas son considerablemente más bajas que en la cuenca baja (Nosara y Refugio Nacional de Vida Silvestre Ostional). El bosque húmedo tropical presenta la mayoría del área del CBRN por lo tanto, es importante considerar sus características como prioritarias para una planificación adecuada de la gestión de los recursos dentro del CBRN.

Incluso, se puede apreciar en los mapas la relación que existe entre las zonas de vida y la precipitación, en la cuenca alta cerca de Hojancha y Monte Romo existe una precipitación promedio anual mayor que en el resto de la cuenca, lo que coincide con una de las pocas secciones donde la zona de vida es distinta a la mayoría de la cuenca del Río Nosara.

Pendientes del terreno en porcentaje CBRN

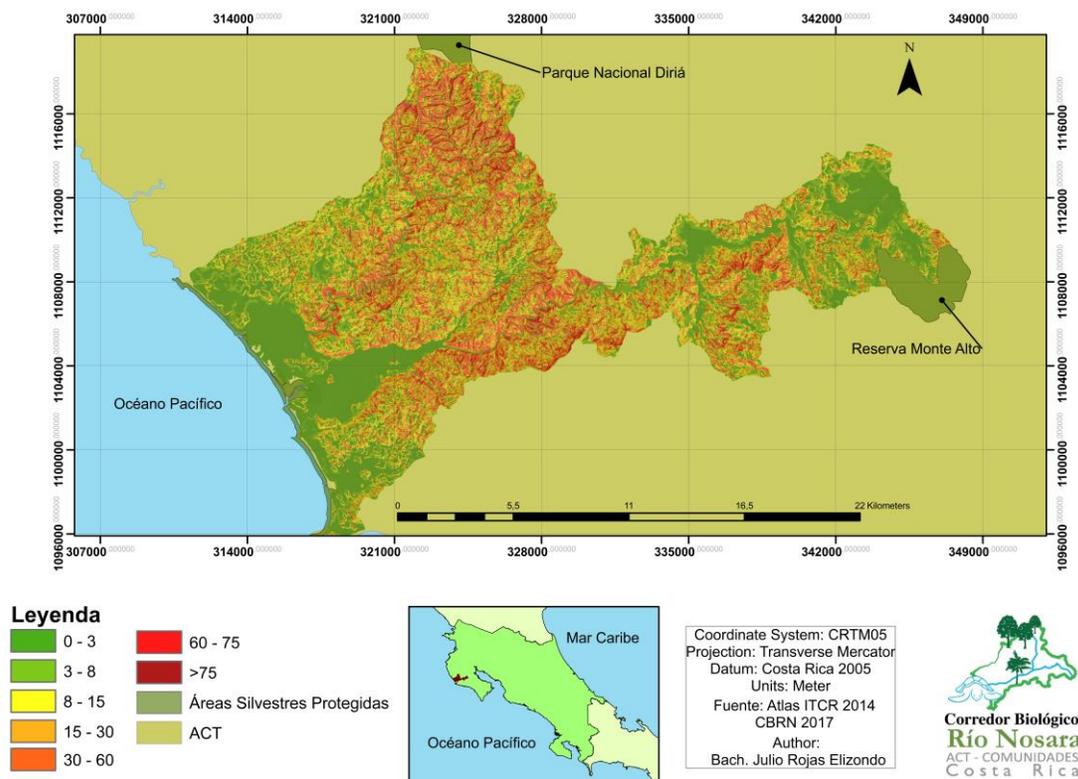


Figura 4 Pendientes en porcentaje, CBRN

Fuente: A partir de datos de la NCA (2017) e ITCR (2014)

Cuadro 4 Pendientes del terreno según extensión CBRN

Rango de pendientes (%)	Descripción	Área (ha)	%
0 - 3	Plano o casi plano	11287.63	38.5
3.1 – 8	Ligeramente ondulado	3796.98	12.9
8.1 - 15	Moderadamente ondulado	3360.72	11.5
15.1 - 30	Ondulado	7046.45	24.1
30.1 - 60	Fuertemente ondulado	3501.27	11.9
60.1 - 75	Escarpado	144.23	0.50
>75	Fuertemente escarpado	175.26	0.60
Total		29312.56	100.0

Fuente: Adaptado de Chinchilla (2015)

La mayor cantidad de área en el CBRN está compuesta por terreno plano o casi plano (38.5%) esto principalmente en la cuenca baja, cerca de Nosara, sitios donde incluso, en temporadas lluviosas muy fuertes, los problemas de inundaciones están presentes. Los terrenos con mayor índice de pendiente, generalmente se encuentran en las zonas de la cuenca alta, sin embargo, la cantidad de área que representa es muy baja, por lo cual, se puede considerar que el relieve del CBRN tiene una tendencia hacia lo plano-ondulado, lo cual está directamente relacionado con el tipo de uso del suelo de la cuenca, lo cual se analizará más a profundidad en el capítulo siguiente.

Gracias a las características de los accidentes tectónicos regionales, el Río Nosara, al igual que la mayoría de los ríos de la Península de Nicoya, presentan fondos planos, por lo que han sido utilizados para los cultivos muy específicos, como los cereales (Bergoeing, 2007).

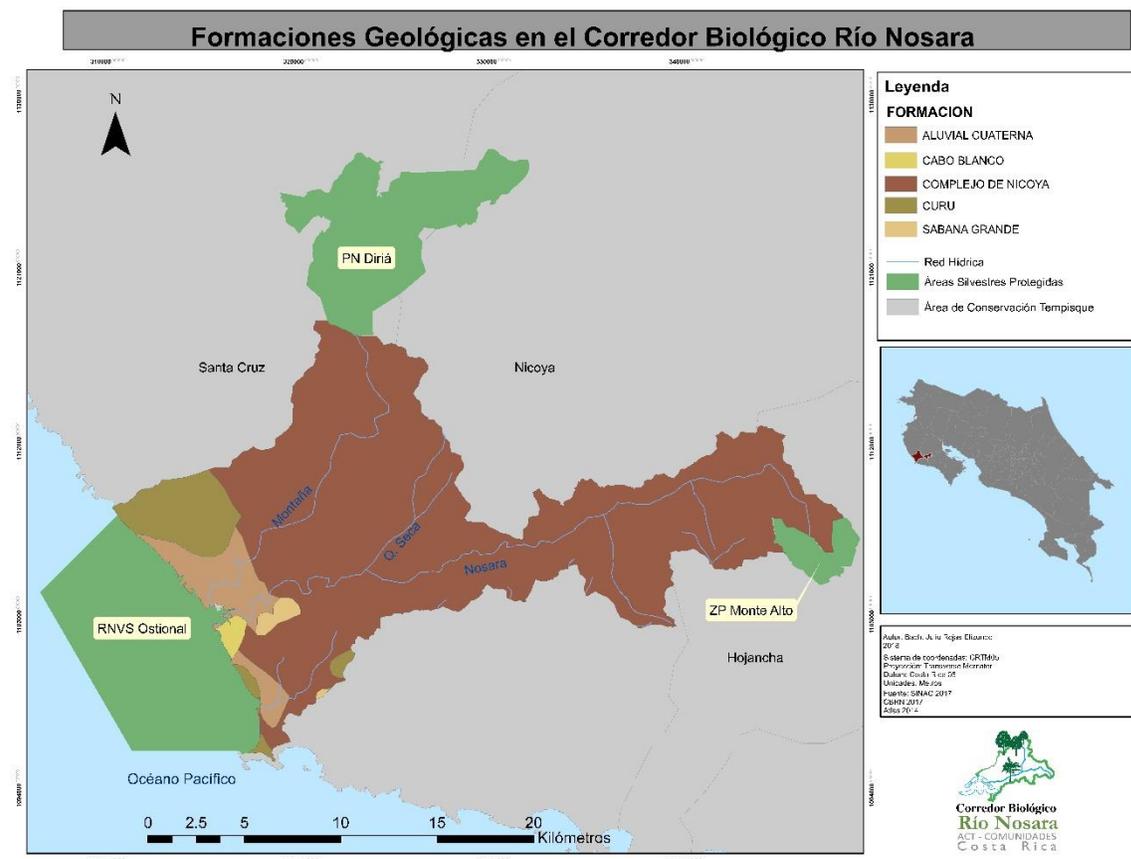


Figura 5 Formaciones Geológicas en el CBRN

Fuente: A partir de datos de la NCA (2017) e ITCR (2014)

Con respecto a la geomorfología del CBRN, el Complejo de Nicoya es la formación geológica con mayor área dentro del corredor, abarca los sectores de cuenca alta y cuenca media del Río Nosara, los cuales están directamente relacionados con la distribución de las pendientes dentro del CBRN, ya que las pendientes con mayor porcentaje de inclinación se encuentran dentro del Complejo de Nicoya.

De acuerdo con Bergoeing (2007) el Complejo de Nicoya se formó entre el Jurásico y el Cretácico Inferior y generalmente se divide en dos principales unidades: Matapalo y Esperanza, esta formación está compuesta principalmente por rocas ígneas y sedimentarias.

Además del Complejo de Nicoya, existen dentro del CBRN dos formaciones geológicas importantes: Curú y Sabana Grande. Curú por su parte está ubicada en el sector sureste de la Península de Nicoya, generalmente son depósitos de origen continental y descansa sobre la formación Sabana Grande, la cual está ubicada en el centro de la península. En la zona baja de la cuenca es donde se encuentran estas dos formaciones como principales, las cuales también cuentan con características de aluviones cuaternarios, áreas de inundación y manglares (Bergoeing, 2007).

Después de conocer este conjunto de factores biofísicos que se encuentran en el CBRN es importante mencionar que los mismos tienen influencia directa en el comportamiento de las especies, estos factores se encuentran relacionados entre sí y proveen de condiciones climáticas y físicas muy características, que si bien es cierto, varían según la zona de la cuenca, determinan un mayor o menor grado de potencial conectividad ecológica.

Componentes Socioeconómicos del CBRN

Antecedentes históricos en el Corredor Biológico Río Nosara

Al igual que el resto de Guanacaste, la cuenca del Río Nosara sufrió un auge ganadero cerca del año 1840, según Monge-Nájera (2004) la alta población de reses en Guanacaste era tal, que se podían encontrar individuos incluso dentro del bosque. La expansión ganadera llegó a un nivel en el que el bosque sufrió un fraccionamiento considerable, dejando fragmentos

de bosque totalmente desconectados entre los potreros, disminuyendo poblaciones de especies que eran abundantes en ese momento, como el venado.

Además, para inicios de los años 20, se extraía mucha madera de los bosques guanacastecos, provocando una pérdida de los bosques a un ritmo acelerado, a través de los años se fueron haciendo esfuerzos por detener esta deforestación, logrando metas como la consolidación de las primeras áreas protegidas (Monje-Nájera, 2004).

Sin embargo es hasta 1991, cuando el Río Nosara se seca por completo en el sector de la cuenca alta, cerca de lo que hoy se conoce como Pilangosta de Hojancha, que se toman medidas de ámbito comunal y ambiental que darían como resultado directo la creación de la Zona Protectora Nosara (conocida hoy como Reserva Natural Monte Alto) (Sistema Nacional de Áreas de Conservación, 2017), a raíz de esto, las comunidades cercanas inician un proceso de concientización ambiental, a tal punto que hoy se hace manejo en toda la cuenca a nivel de corredor biológico.

Características de la población

De acuerdo con los datos de las Unidades Geográficas Mínimas (UGM) proporcionadas por el INEC, en el CBRN actualmente la población es aproximadamente de 8083 habitantes. Para este caso, los distritos que cuentan área dentro del CBRN y que poseen la mayor cantidad de población son Nosara y Belén de Nosarita con 4773 y 1224 habitantes respectivamente. Convirtiéndose estos en los centros poblados de más importancia desde un punto de vista de densidad demográfica.

El distrito de Nosara cuenta con el 59% de la población que corresponde al CBRN, seguida por el distrito de Belén de Nosarita, con 15% de los habitantes; la densidad de población en el CBRN es de 27 habitantes por km², muy similar a la que presenta el CBPC, de 24 habitantes por km², sin embargo, en este otro CB menos de la mitad de la población está distribuida en dos distritos: Monteverde y Chomes (Chinchilla 2015) y en el CBRN más de la mitad de la población se encuentra solamente en el distrito de Nosara, lo que convierte a

este distrito en un punto de importancia en cuanto a considerar y analizar la conectividad ecológica estructural a través del paisaje desde el criterio de cercanía a centros urbanos.

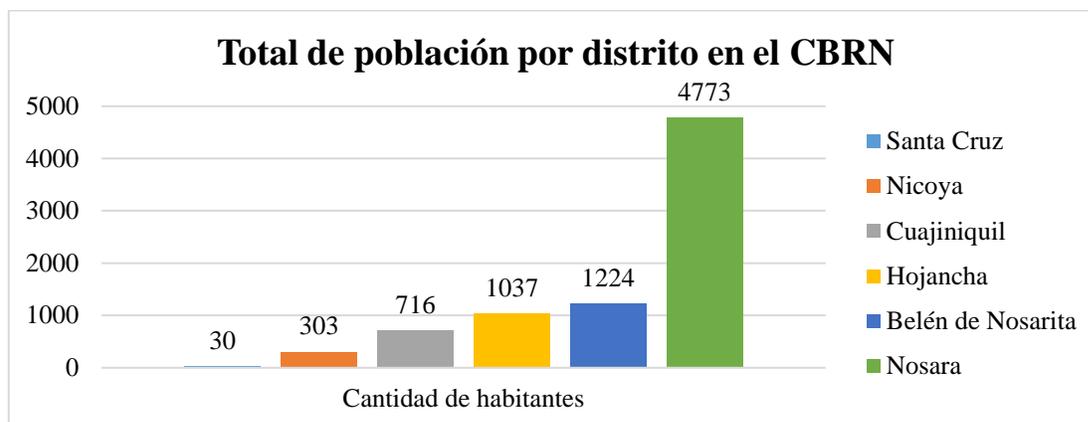


Figura 6 Total de población por distrito en el CBRN en el 2018

A partir de datos UGM (2018) del INEC

Según el INEC (2016) en el período comprendido entre 1996-1997 la población se encontraba creciendo a un ritmo de tres personas por cada cien, sin embargo en el período entre 2015 y 2016, el crecimiento disminuyó acercándose a una persona por cada cien. Esta disminución del crecimiento de la población conlleva un envejecimiento de la estructura poblacional.

Según la figura 6, la estructura poblacional del CBRN se encuentra compuesta por un bloque inferior a los 40 años que corresponde a 72% del total de los habitantes, entre 40 y 65 años un total de 21% y personas adultas mayores de 65 años que corresponden al 7% de la población.

Esto, tiene una implicación social importante, ya que la gobernanza y la gestión socioeconómica y ambiental desde ONGs, instituciones y organizaciones en general tiende a una necesidad de relevo generacional, lo cual a su vez se convierte en una oportunidad para la explotación de nuevos talentos locales y articulación comunitaria desde una perspectiva joven a nivel de corredor biológico.

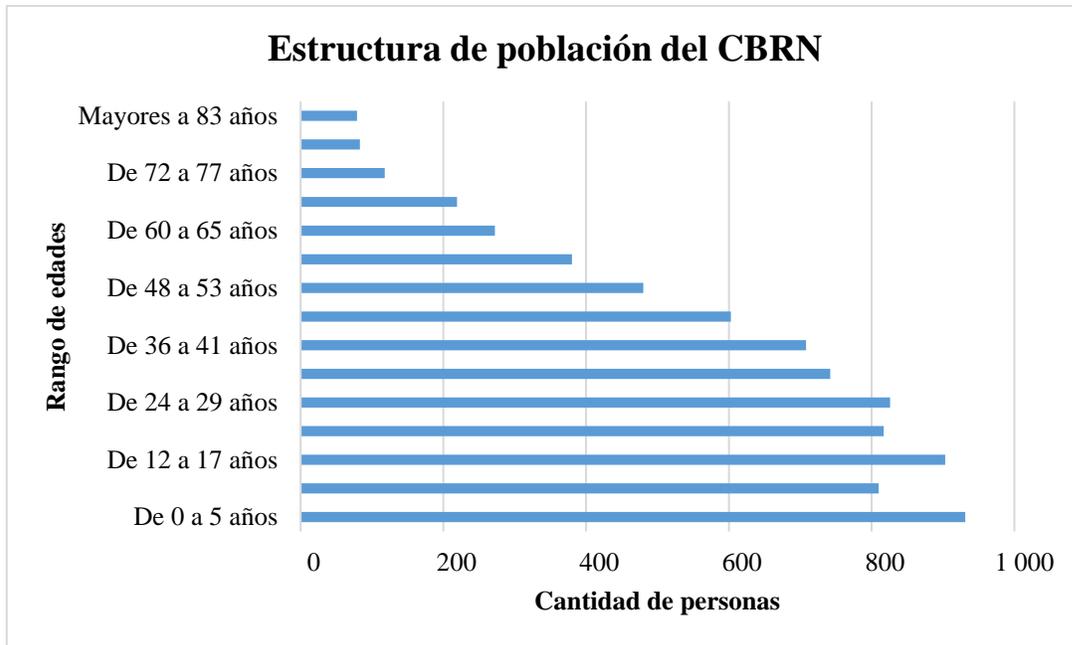


Figura 7 Estructura de población en el CBRN

A partir de datos UGM (2018) del INEC

Otro aspecto importante a considerar a la hora de analizar la población es el nivel de escolaridad que presenta, ya que el nivel académico de las personas de una región es un indicador de qué tantas oportunidades se están presentando actualmente para estudiar o para acceso a oportunidades laborales comparadas con años anteriores, y qué tanto es el nivel educativo de la región y cómo este afecta a la dinámica socioeconómica local.

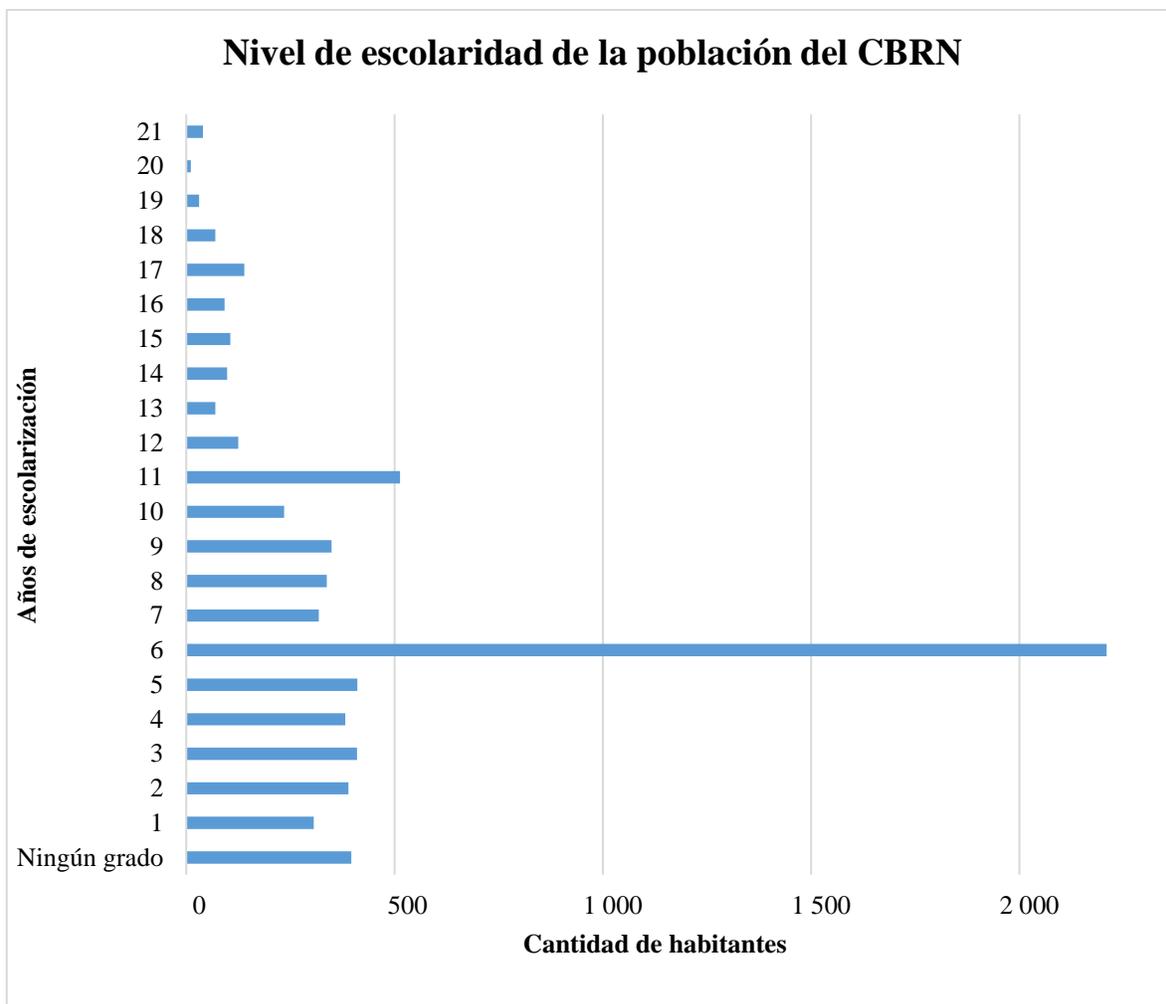


Figura 8 Nivel de escolaridad de la población CBRN

A partir de datos UGM (2018) del INEC

Según la figura anterior se desarrollan algunos aspectos importantes a considerar: el primero es que dentro de los datos UGM del INEC hay total de 765 personas de las cuales no se cuenta con información de su nivel de escolaridad, sin embargo, los datos procesados y analizados, se realizan con los datos de las 7318 personas restantes. A partir de esto, se obtiene que el 94% de la población cuenta con algún grado de nivel de escolaridad.

Otro aspecto que destaca es que 33% de la población del CBRN cuenta actualmente con un grado académico que no sobrepasa el sexto año de primaria, además de otro pico de escolaridad que se presenta es en 11avo año, el cual se presenta en menor porcentaje, lo cual hace indicar que los habitantes del CBRN muestran una tendencia de terminar sus estudios

primarios y solo una parte continúa con estudios secundarios. Esto, genera otro tema importante, el cual se denota en la cantidad de personas con niveles de educación universitarios, la cual es muy baja, y que puede deberse principalmente a la emigración de estudiantes graduados de secundaria al valle central u otras zonas del país, donde pueden continuar sus estudios universitarios o simplemente se dedican a trabajar en la zona al terminar la secundaria.

En cuanto a las actividades socioeconómicas dentro del CBRN, por una parte, cerca del 20% de la población laboralmente activa se dedica a actividades agropecuarias como cultivos agrícolas, ganadería, acuicultura y producción forestal. Este tipo de actividades se desarrollan principalmente en la cuenca media y alta de la cuenca.



Figura 9 Finca ganadera en el CBRN

Fuente: <https://vozdequanacaste.com/por-nuestra-voluntad-capitulo-9-el-paraiso-de-las-hamburguesas/>

Un tema que tiene injerencia directa en el comportamiento socioeconómico regional relacionado principalmente con el uso de suelo son las actividades agropecuarias, las cuales, según la tendencia que presente en los próximos años puede generarle al tema de conectividad ecológica un nivel de importancia considerable, principalmente por la competencia por espacio dentro del mosaico de uso de suelo en el CBRN, es por esto, que un análisis de tendencia de extensión agropecuaria de los próximos años en Costa Rica es necesario para conocer cómo esto puede afectar y en qué medida la gestión de conectividad ecológica dentro del CBRN.

De acuerdo con MINAE et al. (2015), dentro de los próximos 20 años y basados en los cuatro principales sistemas de producción ganadera (leche, carne, doble propósito y engorde) el hato ganadero presentaría una ligera tendencia positiva, principalmente en producción de carne y leche, sin embargo, con una tendencia hacia menores áreas de pastoreo y conversión de algunas zonas de charrales abandonadas a bosques secundarios.

En cuanto al sector agrícola, de acuerdo con el Estado de la Nación (en el período comprendido entre 1984 y 2015 hubo una disminución de 21.6% el total de área dedicada a actividades agropecuarias,

Por otra parte, aproximadamente el 44% de la población laboralmente activa del CBRN se dedica a actividades relacionadas directamente con comercio y fabricación y elaboración de diversos productos. Entre las principales actividades comerciales en el CBRN está el turismo, el cual se encuentra concentrado principalmente en la zona de Nosara, en el cantón de Nicoya. Dicha actividad genera una gran cantidad de empleo e ingresos para la zona y el CB. Actualmente existen esfuerzos que buscan articular la producción agropecuaria de la cuenca media y alta con la demanda de productos de este tipo en la cuenca baja, en búsqueda de estabilizar un mercado local que beneficie al CBRN socioeconómicamente y de un modo sostenible.



Figura 10 Publicidad turística en el centro de Nosara

Fuente: <https://vozdequanacaste.com/lo-que-tiene-que-saber-sobre-el-plebiscito-de-nosara/>

Capítulo 2 Análisis de conectividad y fragmentación boscosa a través de SIG

Una vez concluido el capítulo que corresponde a la caracterización socioeconómica y biofísica del CBRN se procede a realizar el análisis que corresponde al estado de conectividad y fragmentación del bosque, con el fin último de proponer la ruta de conectividad ecológica estructural mejor adaptada para el CBRN.

Antes de llevar a cabo el análisis propio de conectividad y fragmentación, se procedió a realizar un análisis de uso del suelo del CBRN, según la capa desarrollada por la NCA (2017) y a partir de ahí, comprender ante qué panorama se encuentra la región en estudio en cuanto a uso del suelo, el cual estará directamente relacionado con el estado de fragmentación y conectividad que se presente dentro del CBRN y cómo este proporciona diversas relaciones y distintas situaciones que permiten analizar la conectividad estructural de una mejor forma.

Análisis de uso del suelo del Corredor Biológico Río Nosara

Dentro del CBRN se identificaron 9 diferentes tipos de uso del suelo, dentro de estos distintos usos, se encontró que algunos de ellos pertenecen a usos de carácter natural, como bosque y cuerpos de agua, así como otros usos de perfil menos natural, como asentamientos urbanos y pastos.

De las 30.439 ha con las que cuenta en CBRN, el uso de suelo que comprende mayor cantidad de la superficie es bosque, con un total de 68%, seguido por pastos con árboles dispersos, uso que comprende el 14% del total del área del CBRN.

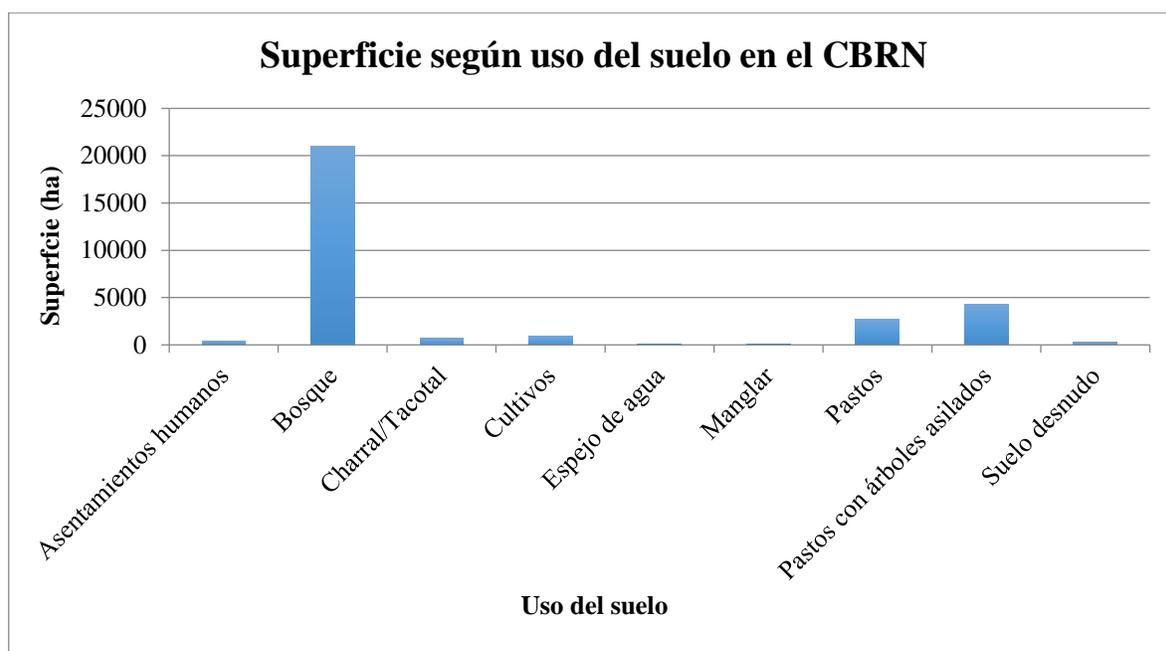


Figura 11 Superficie según uso del suelo en el CBRN

A partir de datos de la NCA (2017)

La cobertura boscosa dentro del CBRN cuenta con un porcentaje alto con respecto a otros usos de suelo, lo cual indica que la importancia del estudio en cuanto a términos de conectividad estructura está ligada directamente a la forma de cómo están ubicadas y distribuidas en el paisaje estas áreas boscosas y cuál es su interacción y cercanía con otros usos del suelo.

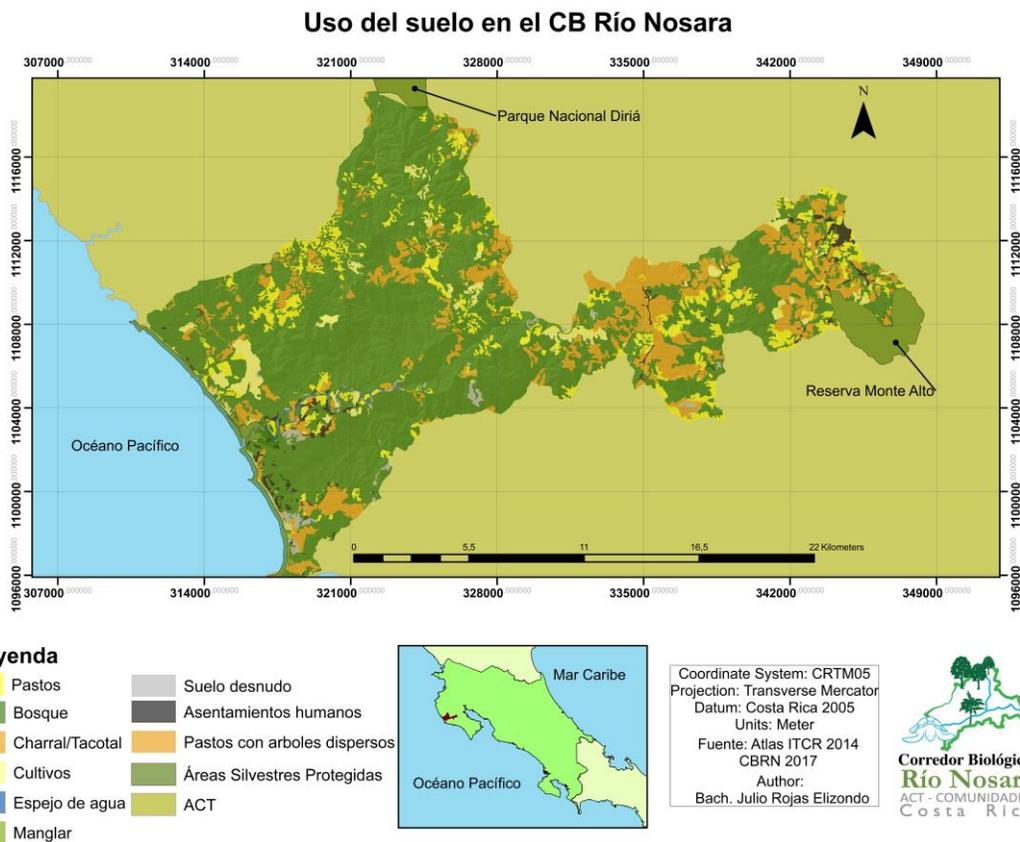


Figura 12 Uso del suelo CBRN

Elaboración propia con datos de la NCA (2017)

El mosaico que compone la cobertura del suelo en el CBRN es complejo, la cantidad de tipos de uso y la forma en que están distribuidos permite observar que existen tres centros urbanos principales, uno precisamente en la cuenca alta (Hojancha), otro en la cuenda media-alta (Belén de Nosarita) y el último en la cuenca baja (Nosara).

A pesar de tener una cobertura de bosque del 68% ubicada principalmente en el sector noroeste de la cuenca, en las zonas cercanas a los centros urbanos se aprecia un mosaico de usos del suelo compuestos por cultivos y extensiones considerables de pastos. En la zona de la cuenca alta que se encuentra cercana a Hojancha, uno de los cultivos principales que se está desarrollando es la naranja. El manejo agronómico ha hecho crecer la producción de la misma (Soto 2013) y por tanto, se ha convertido en una tendencia de producción en esta zona,

provocando en casos el cambio de uso de suelo de pastos o charrales a zonas de producción de naranja.



Figura 13 Cultivos de naranja en el CBRN

Fuente: Emel Rodríguez (2018)

Además de los cultivos en la zona alta de la cuenca, se encuentran otros usos que favorecen la fragmentación de la cobertura boscosa, como la ganadería extensiva, este tipo de uso es muy común en la zona alta y media-alta del CBRN considerando zonas entre Belén de Nosarita y Hojancha.

Según el INEC (2014) solamente en la provincia de Guanacaste existen alrededor de 6000 fincas que se dedican a la ganadería como actividad principal, lo cual implica que esta provincia continúe liderando la actividad ganadera del país. Esto tiene repercusiones a nivel socioeconómico, ya que al ser una provincia bandera en cuanto al tema ganadero, obliga a que la producción se mantenga al largo plazo y por tanto en la medida de lo posible mantener o ampliar la cobertura de suelo para este uso.



Figura 14 Zonas ganaderas en la cuenca alta del CBRN

Fuente: Emel Rodríguez (2018)

Una zona crítica dentro del CBRN es el sector de la cuenca media-alta, que corresponde principalmente a superficies dentro del cantón de Nicoya, cantón que actualmente es el segundo con mayor importancia en cuanto a producción ganadera en Guanacaste (INEC 2015). Estas extensiones, al igual que en la cuenca alta, provocan un efecto considerable de fragmentación del bosque, lo cual dificulta la movilización de especies y flujo genético.



Figura 15 Finca ganadera en la cuenca media del CBRN

Fuente: Dunia Martínez (2018)

Además de la producción ganadera, la cuenca media y baja del CBRN se ve caracterizada por presentar áreas de producción de arroz y melón como principales cultivos agrícolas. Por una parte, el caso del melón, que según el INEC (2015) es un producto con tendencia a incrementar en cuanto a producción de acuerdo al comportamiento de los últimos años; además de esto, la provincia de Guanacaste así como Puntarenas contienen cerca del 97% de la producción total de esta fruta en el país. Lo cual representa un alto porcentaje de un producto con una tendencia a la alza, y por esto, no puede pasar desapercibido en cuanto a análisis de uso de suelo se refiere.

El cultivo de arroz forma parte del otro cultivo importante en la cuenca media y baja del CBRN, con una tendencia estable, el cultivo de arroz en la provincia de Guanacaste representa un 35% de la producción del país (Barquero 2013). Este cultivo puede representar un tema de competencia en el uso del suelo dentro del CBRN, sin embargo, la extensión de área dedicada a esta actividad no ha incrementado y por lo tanto puede representar una oportunidad para hacer una mejor gestión de la conectividad ecológica dentro del CBRN.



Figura 16 Plantación de arroz en la cuenca media del CBRN

Fuente: Dunia Martínez (2018)

Cabe recordar, que para efectos de esta investigación, las plantaciones forestales están siendo consideradas como cultivos, sin embargo con un nivel de resistencia al desplazamiento menor que los que representan los cultivos agrícolas. Un ejemplo de cultivo forestal de importancia en la zona media y baja del CBRN es la teca. Especie que actualmente es una de las más

comercializadas a nivel nacional y que además de eso, Guanacaste es una de las principales provincias donde se produce (INEC 2015).



Figura 17 Plantación de teca (Tectona grandis) en el CBRN

Fuente: Dunia Martínez (2018)

Un aspecto a considerar es cómo el desarrollo urbano ha presentado un auge principalmente en la cuenca baja del CBRN, específicamente en Nosara, donde el turismo se ha convertido en la principal actividad económica local, lo que ha provocado el desarrollo de nueva infraestructura hotelera y domiciliaria. De acuerdo con la NCA (2013) este auge turístico provoca una expansión urbana considerable que debe ser manejada con cuidado y planificación, ya que de no ser así, podrían haber repercusiones a nivel socioeconómico e inclusive ambientalmente.

En lo que respecta principalmente a la conectividad ecológica dentro del CBRN, el aumento de área dedicada a urbanismo en la cuenca baja puede presentar potencialmente un proceso paulatino de fragmentación del bosque o zonas de influencia directa donde especies silvestres suelen moverse, lo que implica que un proceso de planificación urbano completo y eficaz en la zona puede prevenir que los procesos de fragmentación puedan afectar a mayor escala la movilización de especies o el flujo genético dentro del CBRN.



Figura 18 Construcción de edificio domiciliar en Nosara

Fuente: Roberto Quirós (2018)

Siempre en la cuenca baja, existe otro tema que cabe destacar principalmente por su importancia ecológica, y son los manglares que se ubican en la costa cercana a Nosara. Actualmente en la zona se encuentra oficialmente constituido el Refugio Nacional de Vida Silvestre Ostional, el cual permite la conservación de los manglares de esta zona. Sin embargo, como lo menciona Hernández (2010) es importante que exista una intervención eficaz de parte de diferentes partes para no solo proteger sino hacer una adecuada gestión de este tipo de uso del suelo y con esto promover la conectividad ecológica en esta región del CBRN.



Figura 19 Manglares en la desembocadura del Río Nosara

Fuente: http://www.vozdequanacaste.com/i/archivos/03_11/naturaleza.html

Análisis sobre la cantidad de fragmentos de bosque presentes en el CBRN

De acuerdo con Bennett (2004) el proceso de fragmentación de hábitats se constituye por tres componentes: pérdida generalizada del hábitat, disminución del tamaño del hábitat y un mayor aislamiento de los mismos. En el caso de la cantidad de fragmentos de bosque presentes en un paisaje, determinan que tan continuo y extenso sea el bloque que comprende este tipo de uso del suelo y qué tanto hábitat se ha ido perdiendo a través del tiempo. Además, entre menos fragmentos de bosque se encuentren en un paisaje, se dirá que habrá mayor facilidad de movilización de las especies dentro del hábitat debido a la homogeneidad del espacio.

En el CBRN existen 117 fragmentos de bosque; esto representa 12,8% del total de fragmentos con diferentes usos dentro del CB. La distribución según la cantidad de cada uno de los fragmentos se detalla en el cuadro 5.

Cuadro 5 Cantidad de fragmentos según tipo de uso en el CBRN

Tipo de uso	Cantidad de fragmentos	Porcentaje que representa (%)
Bosque	117	12.8
Asentamientos urbanos	126	13.8
Charral/Tacotal	58	6.3
Cultivos	73	8.0
Espejos de agua	1	0.1
Manglar	1	0.1
Pastos	258	28.2
Pastos con árboles aislados	188	20.5
Suelo desnudo	93	10.2
Total de fragmentos	915	100

Fuente: A partir de datos de la NCA (2017)

Del total de tipo de uso de suelo que componen el paisaje en el CBRN, el que cuenta con más cantidad de fragmentos son las áreas dedicadas exclusivamente a pastos. Las cuales se encuentran distribuidas por todo el CB, seguidas por los terrenos utilizados como pastos con árboles aislados, los cuales en conjunto contienen el 48,7% del total de los fragmentos del CBRN.

Estos dos usos anteriormente mencionados (pastos y pastos con árboles dispersos), generan una fragmentación importante de bosque en la zona alta y media del CBRN, principalmente en las zonas de Belén de Nosarita, Hojancha y el sector colindante con el Río Montaña, convirtiéndose en las áreas más fragmentadas dentro del CBRN. Actualmente, la cuenca alta del CBRN cuenta con 45 fragmentos de bosque (sectores de Hojancha y parcialmente Belén

de Nosarita), la cuenca media con 14 y la cuenca baja con 59 fragmentos (Sector de Nosara y Río Montaña).

De acuerdo con Useche (2006) un análisis del paisaje basado principalmente en fragmentos busca principalmente promover la conectividad ecológica entre los mismos. Por lo tanto, conocer la cantidad de los mismos y su distribución dentro del paisaje determina hacia dónde se deben enfocar los esfuerzos por parte de las organizaciones e instituciones que trabajan en la gestión de esta área dentro del CB.

Análisis sobre el tamaño de fragmentos de bosque presentes en el CBRN

De acuerdo con la Ley Forestal N° 7575 un bosque se considera como tal cuando su extensión es mayor a 2 ha, sin embargo, de acuerdo con Chinchilla (2005) y AGATHOS NATURA (2016) los parches menores a 2 ha corresponden a zonas de importancia para temas de conectividad ecológica principalmente porque estas áreas funcionan como trampolines que favorecen la movilización de especies y flujo genético dentro del CB. Es por esto que para este estudio se han considerado todos los fragmentos de bosque que contiene la capa de uso de suelo de la NCA sin discriminar debido a su extensión.

Los 117 fragmentos de bosque que se encuentran dentro del CBRN cuentan con una extensión promedio de 174 ha. En la cuenca alta por ejemplo, la extensión promedio de los fragmentos de bosque es de 69 ha, en la cuenca media la extensión promedio es de 435 ha y en la cuenca baja la extensión promedio es de 197 ha.



Figura 20 Cobertura boscosa en la cuenca alta del CBRN

Fuente: Google (2018)

A pesar de tener una cantidad importante de fragmentos de bosque (45) la cuenca alta presenta el promedio de tamaño de fragmento más pequeño (69 ha). Aunado a esto, un aglomerado de fragmentos de pastos dedicados a ganadería extensiva se encuentra en esta zona, haciéndola una de las más vulnerables a procesos de fragmentación y pérdida de conectividad ecológica dentro del CBRN.

La tendencia creciente que genera la ganadería en la zona, así como la producción de otros cultivos agrícolas en esta región del CBRN genera una necesidad de priorizar acciones de conectividad, teniendo en cuenta que en la zona existen actualmente instituciones y ONG que se dedican a hacer gestión comunitaria y ambiental en esta área de trabajo.



Figura 21 Cobertura boscosa en la cuenca media CBRN

Fuente: Google (2018)

La cuenca media del CBRN es el sector que cuenta con la menor cantidad de fragmentos de bosque (14) y con el promedio de mayor tamaño de los parches (435 ha). Esto desde el punto de vista de conectividad representa una oportunidad para generar enlace entre áreas de bosque de gran tamaño, considerando zonas protegidas cercanas como el Parque Nacional Diriyá y la Zona Protectora Monte Alto.

De acuerdo con Bennett (2004) estas áreas de bosque de gran tamaño y con un nivel de fragmentación medio-bajo como las que se presentan en la cuenca media del CBRN merecen un reconocimiento como zonas que actualmente se consideran un enlace. Por lo tanto, debe hacerse una adecuada gestión para protegerlas e incrementar su valor de conservación para que con el tiempo, debido a la presión por el uso de suelo inicie un proceso de fragmentación y termine convirtiéndose en áreas ecológicamente aisladas.

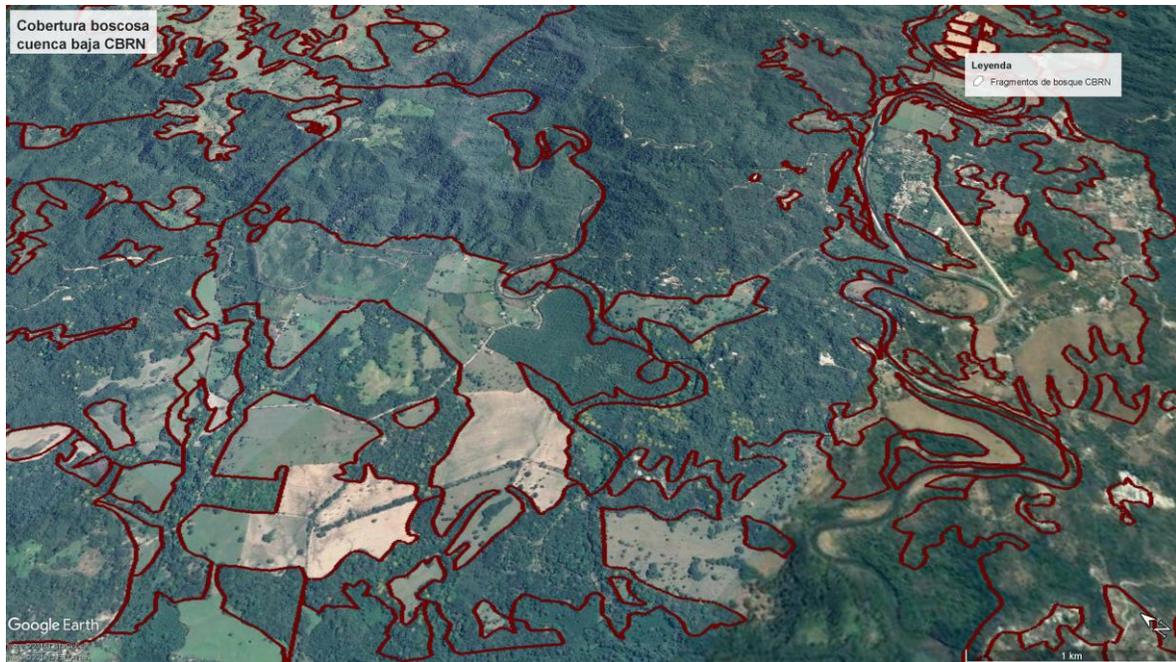


Figura 22 Cobertura boscosa en la cuenca baja CBRN

Fuente: Google (2018)

El área de la cuenca baja del CBRN es una zona particular, es un área dedicada principalmente al turismo (NCA 2003). Además de eso, según Quirós (2018) existen tres principales factores por los cuales el bosque en la cuenca baja se está fragmentando rápidamente:

- Un desarrollo urbano acelerado (las personas actualmente están eliminando área boscosa para construir viviendas)
- Desarrollo turístico, el cual tiene un efecto similar al anterior pero a mayor escala. La construcción de hoteles principalmente está propiciando la pérdida de cobertura boscosa.
- La construcción de nuevos caminos: este factor posiblemente es el más complejo de todos. Ya que la apertura de nuevos caminos (generalmente sin planificación o estudios de movilización de especies) provoca mayor cantidad de atropellos de fauna silvestre debido a la mayor velocidad y flujo de tránsito.

Con respecto a la cobertura boscosa, la cuenca baja presenta la mayor cantidad de fragmentos del CBRN, lo que implica una existencia de un nivel de fragmentación mayor que otros sectores del CB; además con respecto al tamaño es un sector que no posee fragmentos de gran tamaño como sí los tiene la cuenca media. Es por esto que esta área es considerada una de las prioritarias así como la cuenca alta para trabajo de gestión de conectividad, reforestación y otros.

Distribución del área boscosa dentro del paisaje

Una vez que se conoce la composición de tamaño y cantidad de fragmentos del bosque, se utilizan estas dos variables para conocer cómo el bosque se encuentra distribuido en el paisaje y cómo esto puede determinar si el mismo se encuentra agrupado en una región específica o si efectivamente está distribuido de una forma más uniforme por todo el CB.

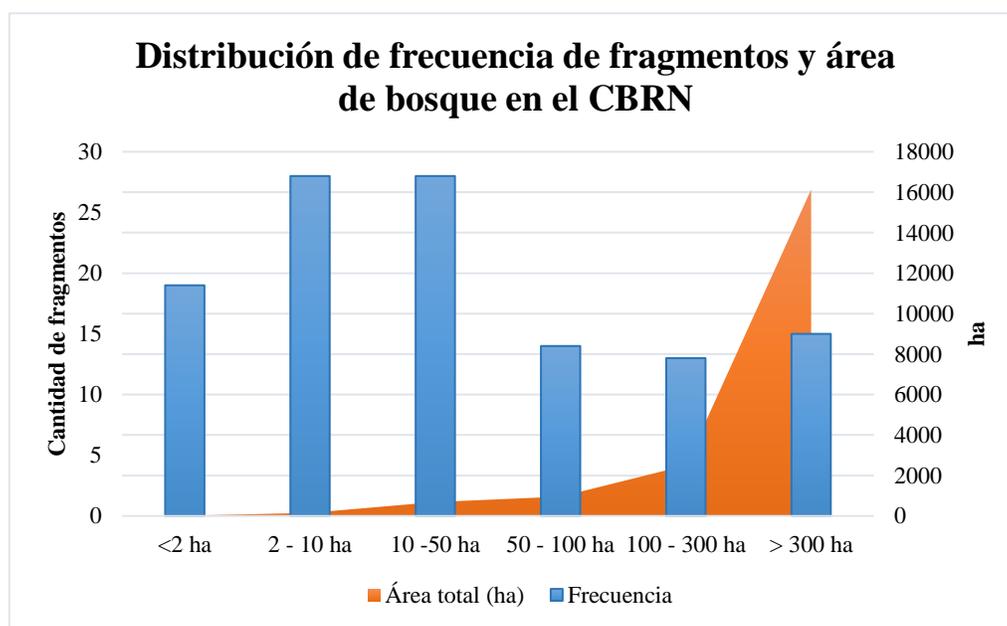


Gráfico 1 Distribución de frecuencia de fragmentos y área de bosque en el CBRN

A partir de datos de la NCA (2017)

Dentro del CBRN el 64% de los fragmentos de bosque tienen una extensión menor a 50 ha, sumando un área total de 859 ha. Sin embargo, esta extensión representa únicamente 4.2%

del total del área con cobertura boscosa dentro del CB. Esto quiere decir que una pequeña extensión de bosque presente está altamente fragmentada. De acuerdo con Hernández (2010), esto puede implicar a pequeña escala, puntos críticos y de aislamiento de pequeños ecosistemas, los cuales, según su ubicación deben ser tomados en consideración para fomentar la conectividad ecológica entre ellos mismos y con respecto a los fragmentos de mayor tamaño.

Los fragmentos de bosque más grandes dentro del CBRN (los mayores a 300 ha) representan únicamente 12% del total de fragmentos. Sin embargo, componen el 78% del total de la cobertura boscosa del CB. Es decir, que únicamente 15 fragmentos contienen casi todo el bosque presente en el CB; esto es un indicador de que zona con bosque se encuentra principalmente agrupada.

La cuenca media cuenta con 14 fragmentos de bosque, siendo esta la que posee mayor cantidad de bosque, debido a fragmentos de gran dimensión, pero con poca cantidad de los mismos. Por esto, se puede decir que este sector del CBRN tiene una cantidad importante de bosque agrupado que de acuerdo con Bennett (2004) son sitios claves debido a su extensión para permitir el flujo de especies y genes a través del CB.

Análisis del índice de forma

El índice de forma, según Mas y Sandoval (2002) evalúa la complejidad de la forma de un fragmento al ser comparado con un parche de forma circular y se dice que este aumenta conforme la forma del fragmento sea más compleja. Entre más cercano sea un índice de forma al valor 1, este tendrá una forma más circular, así como fragmentos con índices de forma mayores a 2 representan un grado más alto de complejidad.

Al realizar el análisis de correlación en el programa estadístico SPSS 23 se obtiene que ($r_s = -0.5$, $p < 0.05$) lo que indica que existe una correlación significativa entre ambas variables. Es decir, que conforme aumenta el área de los fragmentos de bosque, aumenta el índice de forma, y por tanto los fragmentos de más extensión tienen una forma más compleja.

Esto implica, que los fragmentos de bosque más grandes poseen un efecto borde más marcado que los fragmentos de menor extensión. Por esto, las especies que habitan en estos parches de mayor extensión están propensas a ver su ecosistema alterado conforme se aproximan al límite del fragmento, sin embargo, al ser parches de bosque de gran extensión, existe más probabilidad que puedan protegerse en el interior y facilitar el movimiento e interacción ecológica de las especies.

Cuadro 6 Distribución del índice de forma en el CBRN

IF	Número de parches	Representatividad %
1-1.5	30	25.6
1.5-2	23	19.7
2-3	26	22.2
3-4	20	17.1
4-5	11	9.4
>5	7	6.0
Total	117	100.0

Fuente: A partir de datos de la NCA (2017)

Con respecto a la forma de los fragmentos y la cantidad de los mismos, se tiene que cerca del 45% del total corresponden a fragmentos con un índice de forma inferior a 2, lo que implica entre bajo y medianamente irregular. Por su parte, el 65% de los parches tiene un índice de forma superior a 2, lo cual se refiere a fragmentos de bosque con altos niveles de irregularidad.

Como se mencionó en el apartado anterior, la cantidad de estos fragmentos con forma más irregular tienden a aumentar conforme aumenta el tamaño de los mismos, esto tiene un efecto en la vida silvestre que se encuentra adaptada a la parte interior del bosque, la cual tendrá una mayor competencia con respecto a especies que tienen menores restricciones en cuanto a sitios donde desenvolverse y que suelen habitar fácilmente los alrededores de los fragmentos.

También, las especies que habitan en el interior de los fragmentos de bosque más grandes suelen estar más protegidas de la competencia por hábitat, sin embargo, al aumentar el tamaño implica que también aumente la irregularidad de los fragmentos, lo cual puede afectar por un efecto borde sobre estas especies, generando una necesidad de conectividad que promueva un flujo adecuado de las especies en el paisaje.

Según un estudio realizado por Granados, Serrano y García-Romero (2014) el área de menor calidad ecológica en un fragmento de bosque es el ecotono; debido principalmente a las dinámicas encontradas debido al contacto del fragmento de bosque con la matriz externa y que con el tiempo, convierten los bordes en ecosistemas totalmente distintos a las áreas que se encuentran en el áreas núcleo.

Es por esto, que ante una tendencia creciente de expansión urbano-turística en la cuenca baja, la relación tamaño forma del fragmento y una presión agropecuaria creciente que genera fragmentación del bosque en la cuenca alta del CBRN es necesario tomar en consideración que para evitar la disminución del tamaño de los fragmentos de bosque que se encuentran en la cuenca media y generan también un mayor efecto borde debido a la complejidad de la forma de los fragmentos.

Análisis de distancia mínima promedio entre fragmentos de bosque

De acuerdo con Estrada y Coates-Estrada (1994) los fragmentos de bosque que se encuentran aislados contienen no solamente menos especies que fragmentos de bosque del mismo tamaño que se encuentran cercanos a fragmentos de bosque, si no que la dinámica ecológica es considerablemente menor.

El resultado del análisis de distancia euclidiana al vecino más próximo en el sistema estadístico dio como resultado una distancia promedio de 56.85 m, este indicador implica un nivel de distancia entre parches media. Comparada con otros corredores biológicos cercanos como el Hojancha-Nandayure que cuenta con una distancia mínima promedio de 54 m, el CBRN cuenta con un nivel de alejamiento de fragmentos ligeramente mayor.

Distancia euclidiana de centroides de fragmentos de bosque en el CBRN

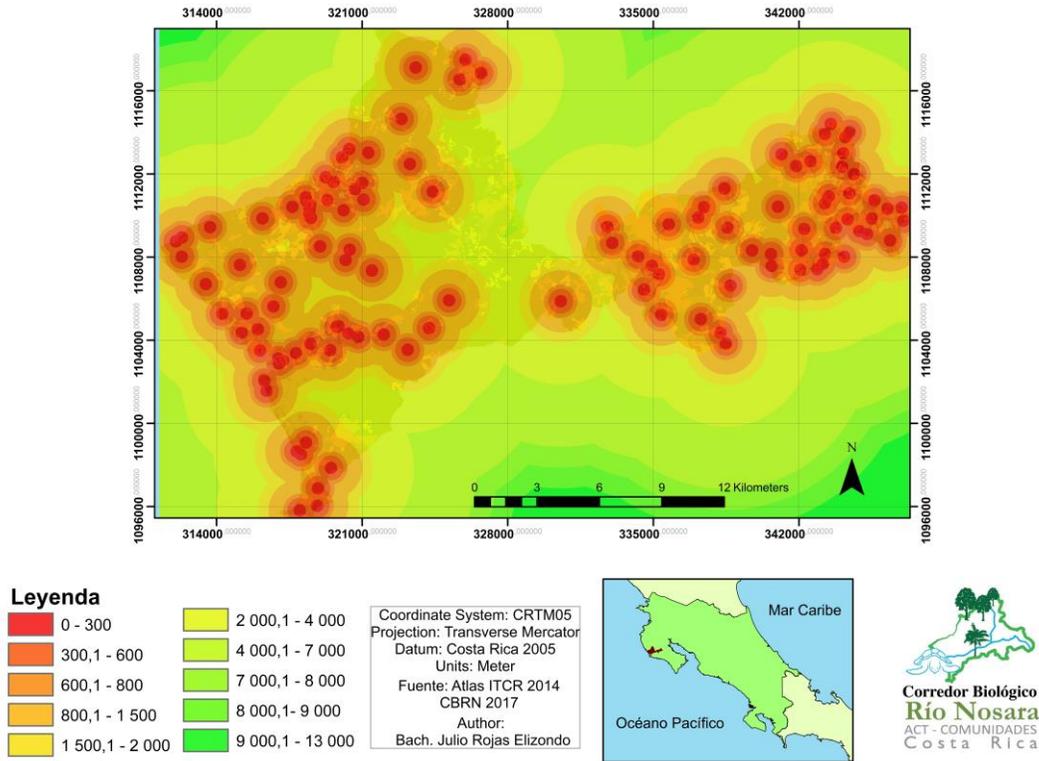


Figura 23 Distancia mínima promedio entre centroides de bosque en el CBRN

Fuente: A partir de datos de la NCA (2017) e ITCR (2014)

Como se puede apreciar en la figura 19, existe un agrupamiento de parches de bosque en el sector noreste del CBRN, que coincide precisamente con el área más fragmentada dentro del CB. Además, se aprecia un nivel de cantidad de fragmentos muy bajo en el sector medio, que es donde se encuentran los parches de bosque con mayor tamaño y por ende en menor cantidad. El nivel bajo de distancia entre parches que presenta el CB puede verse beneficiado con la intervención de estrategias de conectividad en el sector de Hojancha y Nosara, tomando en consideración que son las regiones con mayor cantidad de fragmentos de bosque y de menor tamaño.

El nivel de fragmentación del CBRN en cuanto a esta métrica específica, es bastante similar al del Corredor Biológico Hojancha Nandayure. Por lo tanto se ha tomado como punto de partida para establecer las variables que determinan la resistencia del desplazamiento de especies en el paisaje, detallado en el apartado de metodología.

Un caso similar en cuanto a unidad de manejo a nivel de paisaje es el CBPC, que también trabaja bajo el modelo de cuenca hidrográfica, en este CB el nivel de fragmentación es más alto (237m) con respecto a la distancia mínima promedio, lo cual indica que a pesar de la diferencia en métricas de paisaje, el manejo y gestión a nivel comunitario puede ser similar pero el énfasis puede depender de las necesidades en cuanto a conectividad ecológica de cada sitio.

Este nivel de cercanía entre fragmentos de bosque mayor a otros corredores biológicos representa una oportunidad para procesos de restauración ecológica, ya que el costo para lograr el nivel de conectividad buscado no se verá tan interrumpido por un tema de lejanía entre los parches de bosque.

Capítulo 3 Establecimiento de la red de conectividad entre cuenca alta y baja del CBRN

La conectividad ecológica se considera como un elemento vital en la estructura del paisaje, debido principalmente a la implicación que tiene sobre la supervivencia de las especies (Murrieta 2006). Esto con el fin de proveer “corredores” para enlazar los hábitats más aislados a través de un análisis de los patrones del paisaje (Bennett 2004), el cual es el fin para el cual este trabajo tiene su aporte como herramienta de planificación y gestión.

Es común que los diseños de redes de conectividad utilicen ciertos elementos considerados como lineales, como los ríos, para promover conectividad entre los bosques, ya que los niveles de fricción en este tipo de cobertura son muy bajos, por lo tanto son una variable fundamental a considerar (Chinchilla 2015) Es por esto, que para este trabajo se han determinado como elementos lineales a considerar la red hídrica y la red vial.

Arias et al. (2008) mencionan que entre más cercanía exista entre un fragmento de bosque y otro, y menor contraste de uso exista entre estos ambos fragmentos existirá un menor nivel de resistencia al desplazamiento por parte de las especies, es decir, que si entre dos fragmentos de bosque el tipo de uso que hay es un sistema agroforestal, la resistencia será menor si el tipo de uso fuera únicamente pastos o suelo desnudo.

Esta red de conectividad ecológica sigue la línea metodológica de Céspedes (2006) que como ya se mencionó en el apartado V, consiste de tres principales fases: 1) Identificación de los fragmentos de bosque prioritarios a conectar, 2) La definición de los niveles de resistencia al desplazamiento para las especies silvestres y 3) el modelado propiamente de la red, a través de un análisis de zonas con menor resistencia al desplazamiento.

Antes del proceso de diseño de la red, como se indica, el primer paso consiste en identificar cuáles son aquellos sitios de mayor importancia a nivel de cobertura boscosa y son los que se busca conectar, el cual se muestra en el siguiente apartado.

Identificación de fragmentos prioritarios y áreas silvestres protegidas a conectar

En el CBRN se lograron identificar 117 fragmentos de bosque cuyo tamaño varía entre 0.04 y 3.506 ha, con una extensión promedio de 174 ha. Para la determinación de fragmentos prioritarios se consideraron todos los parches de bosque, haciendo énfasis en fragmentos de mayor extensión y con ubicación estratégica como potenciales núcleos de biodiversidad dentro del CBRN.

La cuenca alta, a pesar de ser una de las regiones con mayor fragmentación del paisaje dentro del CBRN, cuenta con tres parches de importancia en cuanto a extensión y potencial de conectividad ecológica que presentan. Uno de ellos es la Reserva Natural Monte Alto, la cual cuenta con una extensión de 924 ha y que se ha convertido en un núcleo de conservación y protección de la biodiversidad.

Además de Monte Alto, existen dos fragmentos importantes, los cuales a pesar de ser de gran tamaño, tienen una forma irregular que puede implicar un efecto de borde importante para

las especies. Sin embargo, poseen una forma ramificada en algunas áreas que puede permitir la facilidad de conectividad ecológica en esta región específica.

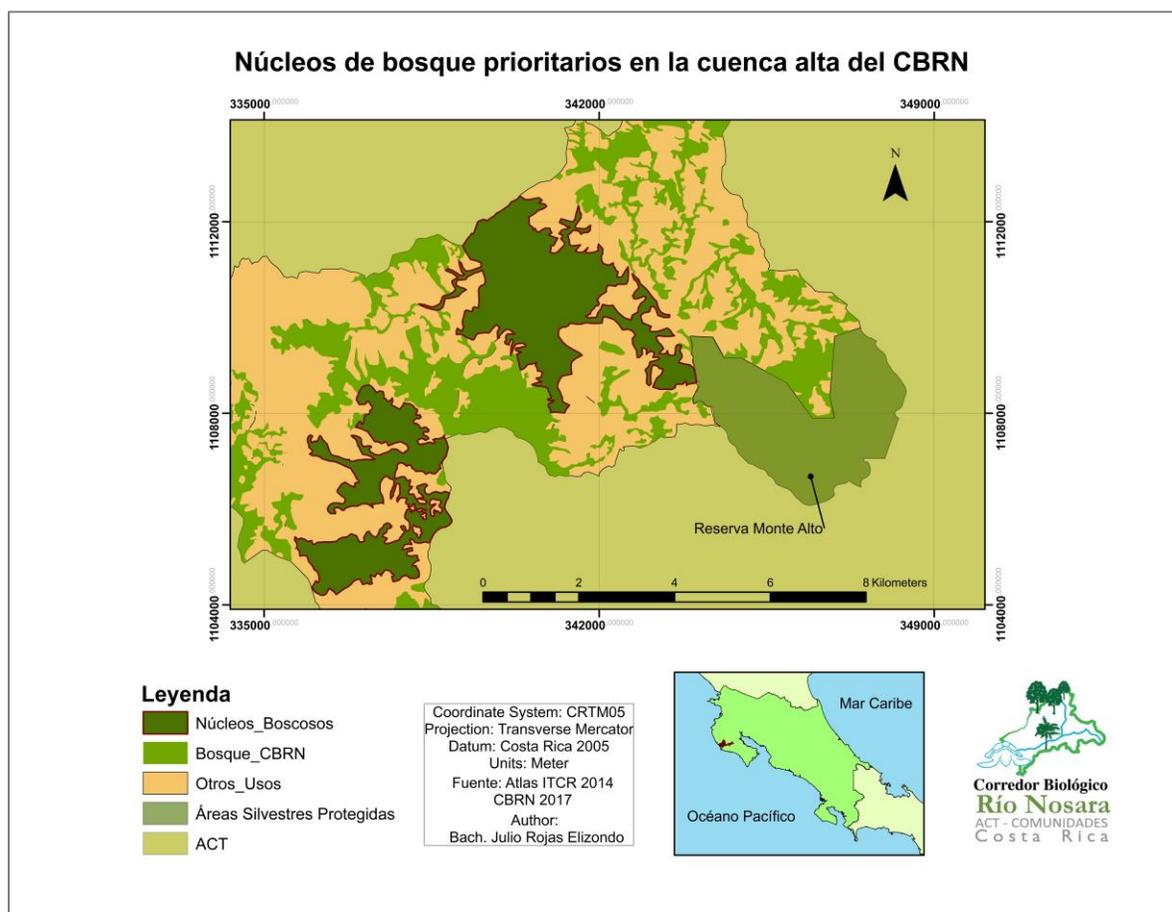


Figura 24 Núcleos de bosque prioritarios en la cuenca alta del CBRN

Fuente: A partir de datos de la NCA (2017) e ITCR (2014)

En cuanto al sector medio del CBRN, se conoce según los resultados del capítulo anterior, que es la sección de la cuenca que cuenta con la mejor cobertura de bosque, con parches de gran extensión y con un potencial para conectividad estructural y funcional bastante alto. Este sector medio representa dentro del CB un punto focal, ya que funciona como principal puente ecológico para especies, agua y funcionamiento ecológico general.

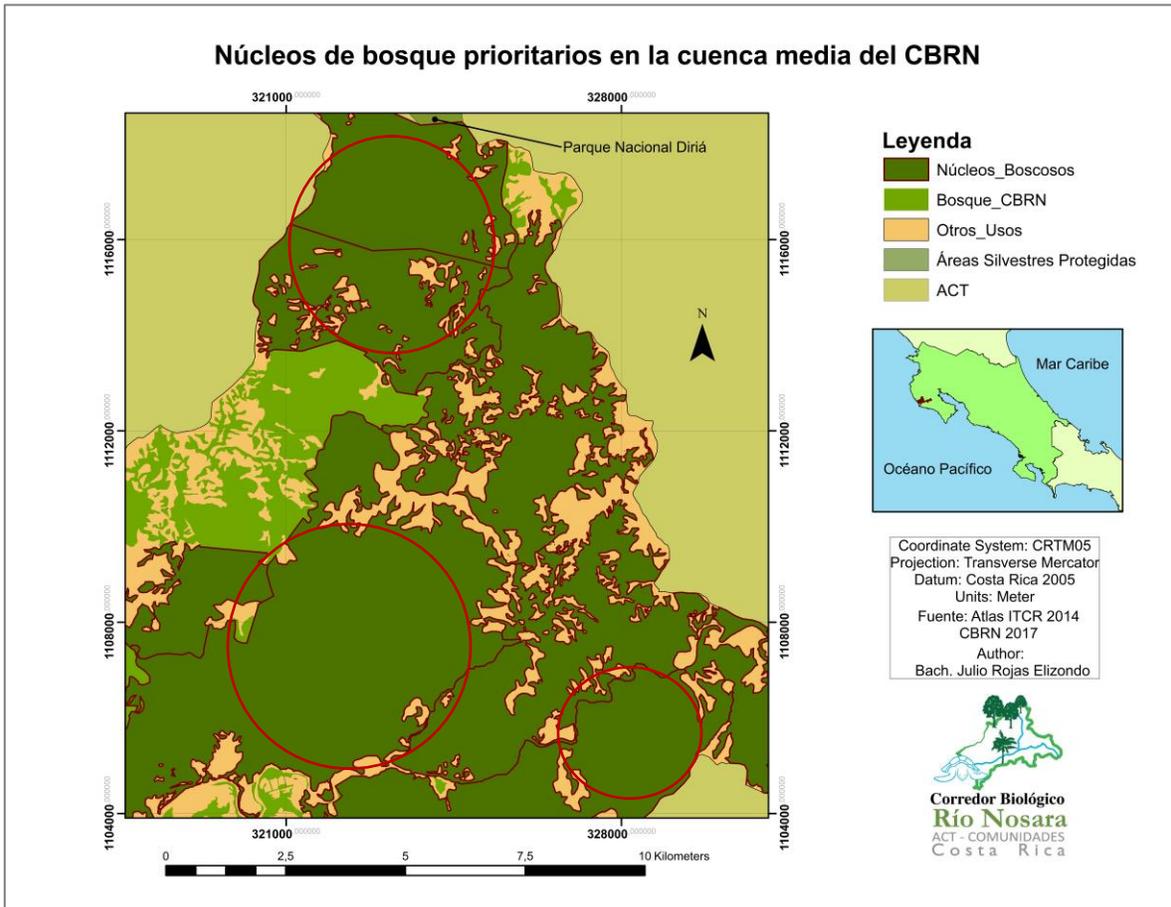


Figura 25 Núcleos de bosque prioritarios en la cuenca media del CBRN

Fuente: A partir de datos de NCA (2017) e ITCR (2014)

Este sector del CBRN cuenta con la mejor cobertura de toda la cuenca, tiene el potencial para propiciar el sector más apto para conectar los fragmentos prioritarios de la cuenca alta y baja con áreas protegidas circundantes al CB, como Monte Alto, Parque Nacional Diríá y el Refugio Nacional de Vida Silvestre Ostional. Este sector medio representa un conector fundamental que se debe gestionar para la promoción de la conectividad ecológica del CBRN.

Otro aspecto a destacar es que existen tres bloques de bosque que concentran la mayor cantidad de área de bosque (los cuales están encerrados en los círculos rojos) y que poseen un efecto borde mucho más bajo debido a su forma que otras zonas de la cuenca media donde

los bosques tienen una forma más ramificada. Estos espacios con menor efecto borde se vuelven puntos prioritarios a tomar en consideración a la hora de elaborar la red de conectividad ecológica estructural.

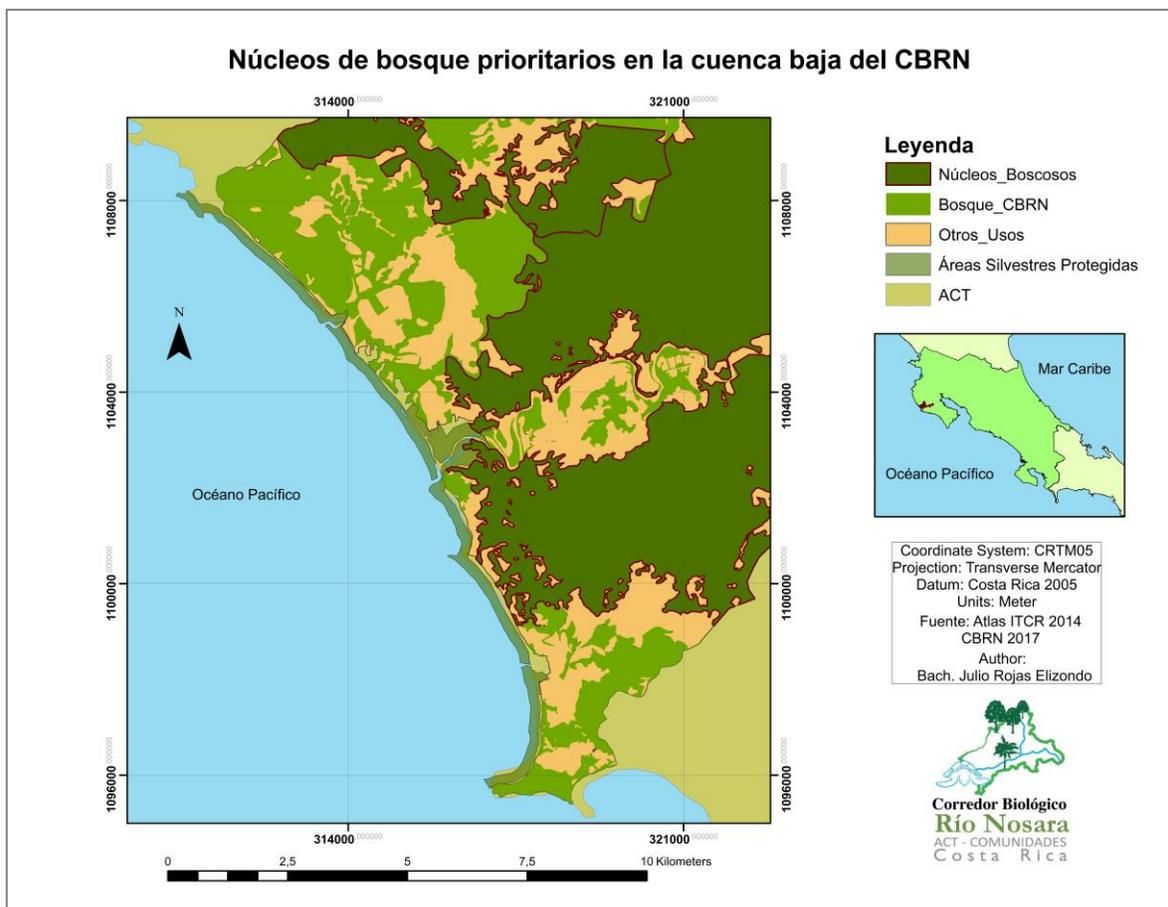


Figura 26 Núcleos de bosque prioritarios en la cuenca baja del CBRN

Fuente: A partir de datos de NCA (2017) e ITCR (2014)

En el sector de la cuenca baja existen dos núcleos de bosque principales, los cuales tienen una conexión directa con los fragmentos que se encuentran en la cuenca media. Estos fragmentos representan el punto de partida hacia un proceso de gestión de conectividad ecológica en la cuenca baja, debido a que los parches más pequeños cuentan con una presión por espacio considerable, principalmente por la competencia que resulta de la expansión urbana.

Se recomienda que la gestión de conectividad en esta región específica del CBRN debe tener dos líneas de trabajo: la primera debe estar enfocada en la protección, conservación y buen manejo de estos dos núcleos de bosque prioritarios y la segunda es que los fragmentos de bosque más pequeños y que se encuentran más aislados, deben gestionarse en función de los núcleos más grandes y áreas protegidas cercanas, para lograr una conexión exitosa entre un sitio prioritario como el Refugio Nacional de Vida Silvestre Ostional y estos dos núcleos de bosque identificados.

Definición de niveles de resistencia al desplazamiento por parte de la vida silvestre

Las diferentes formas en las que se da el uso de la tierra pueden afectar como filtros que generen resistencia al desplazamiento de las especies (Bennett 2004) algunos usos de la tierra pueden representar poca resistencia al desplazamiento, como los bosques o áreas con regeneración natural medianamente avanzada; mientras que otros pueden representar realmente una barrera que no permite el flujo exitoso de especies y genes a través del bosque.

Es importante mencionar que cuando se refiere a movimiento no solamente se refiere al desplazamiento físico de las especies, sino también los procesos ecológicos que esto conlleva: dispersión, polinización, reproducción, llámese animales o plantas (Ramos 2004).

De acuerdo con Chinchilla (2015) existe un costo de desplazamiento mayor cuando el tipo de uso está directamente relacionado con usos más extensivos e intensivos, por ejemplo, zonas urbanas, cultivos agrícolas, sitios de pastos en ladera con pendientes muy pronunciadas. Por ende, los valores de menor costo de desplazamiento corresponderán a sitios con mayor cobertura boscosa en el paisaje y por ende con mayor nivel de conectividad.



Figura 27 Zona con bajo costo de desplazamiento para especies

Fuente: Emel Rodríguez

Cuando se desarrolla el modelo de una red de conectividad ecológica estructural, es indispensable considerar el grado de fricción que representa para las especies movilizarse en el paisaje de un núcleo de conservación a otro, y esto está directamente relacionado con el uso del suelo en el paisaje.

Es crucial comprender que un paisaje, debido a la biocomplejidad que presenta, se percibe de diferentes formas según las especies, y por ende el nivel de conectividad funcional depende de las comunidades y especies presentes en la región (Ramos 2004). Sin embargo, para efectos de estudio de conectividad ecológica a nivel estructural es importante considerar dónde, dentro del paisaje hay más probabilidad de que estas especies puedan desplazarse y darle prioridad a estos sitios como centros de conectividad potencial.

De acuerdo con la tabla de niveles de resistencia al desplazamiento (apartado V) existen otras variables además del uso de suelo que influyen en el nivel de resistencia al desplazamiento de las especies. Uno de ellos es la cercanía a ríos principales o contribuyentes, la distancia que exista con respecto a carreteras, la distancia a centros poblados y a ASP. Entre más cerca o lejos esté un punto del paisaje a estas variables, mayor o menor será el valor de resistencia que presente.

Con respecto a cercanía a ríos, los mismos se consideran como zonas claves de interconexión de especies dentro de un corredor biológico, ya que proveen un espacio de continuidad y funcionamiento de actividad ecológica (García y Abad 2014), debido a ser zonas de reproducción, alimentación y refugio, principalmente la época seca. Aunado a esto, entre menor sea el grado de pendiente que exista en las riberas del río, habrá mayor facilidad de movilización de las especies, lo que favorece procesos propios de conectividad ecológica.

Es por esto, que los ríos, asociados con la pendiente de sus riberas son considerados de alta importancia en cuanto a zonas con menor o mayor grado de fricción para las especies dentro del CBRN y deben ser tomados en consideración al momento de diseñar la red de conectividad ecológica.

Por ejemplo, en la cuenca alta del CBRN (figura 28) las zonas más cercanas cuentan con niveles de resistencia al desplazamiento muy bajos, y a medida que la distancia y pendiente aumentan con respecto a la ribera del río, los niveles de resistencia aumentan, esto se debe a que principalmente durante la temporada seca los animales tiendan a desplazarse hacia los ríos por zonas con mejor accesibilidad con respecto a pendiente, por lo tanto, para términos de conectividad ecológica estructural, estas zonas son prioritarias para fomentar una potencial conectividad ecológica funcional.

Niveles de resistencia al desplazamiento según cercanía a ríos en el CBRN

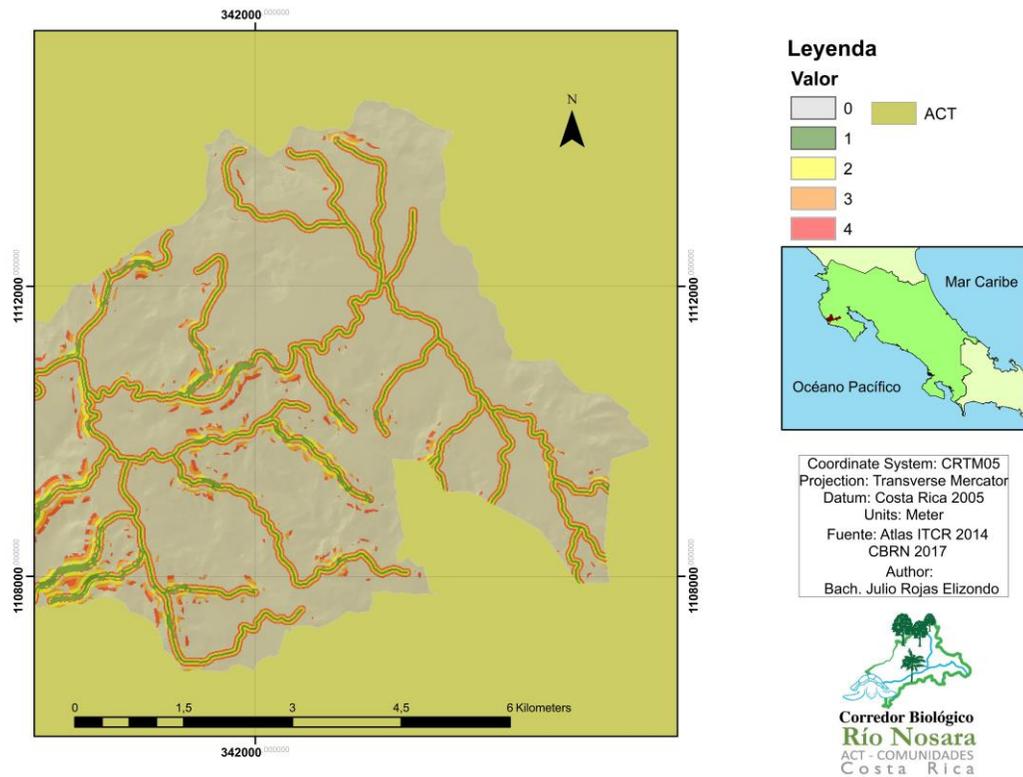


Figura 28 Niveles de resistencia a desplazamiento según cercanía a ríos en el CBRN

Fuente: A partir de datos de NCA (2017) e ITCR (2014)

El tema de distancia a carreteras relacionado con niveles de fricción al desplazamiento es complejo; Iglesias, Díaz y Cuenca (2013) mencionan que las carreteras actúan como barreras que dificultan el desplazamiento de especies a través del paisaje. Esto no se debe únicamente por los atropellos de animales que existen actualmente en las carreteras, por ejemplo, 12 manigordos (*Leopardus pardalis*) atropellados en los tres primeros meses del 2016 en carreteras principales de Costa Rica (Rojas 2016), sino porque muchos de los animales silvestres evitan acercarse a estos sitios porque tienen su nicho ecológico en sectores ubicados más en el centro del bosque, donde su desplazamiento posee un nivel de fricción menor.

Niveles de resistencia al desplazamiento según cercanía a carreteras en el CBRN

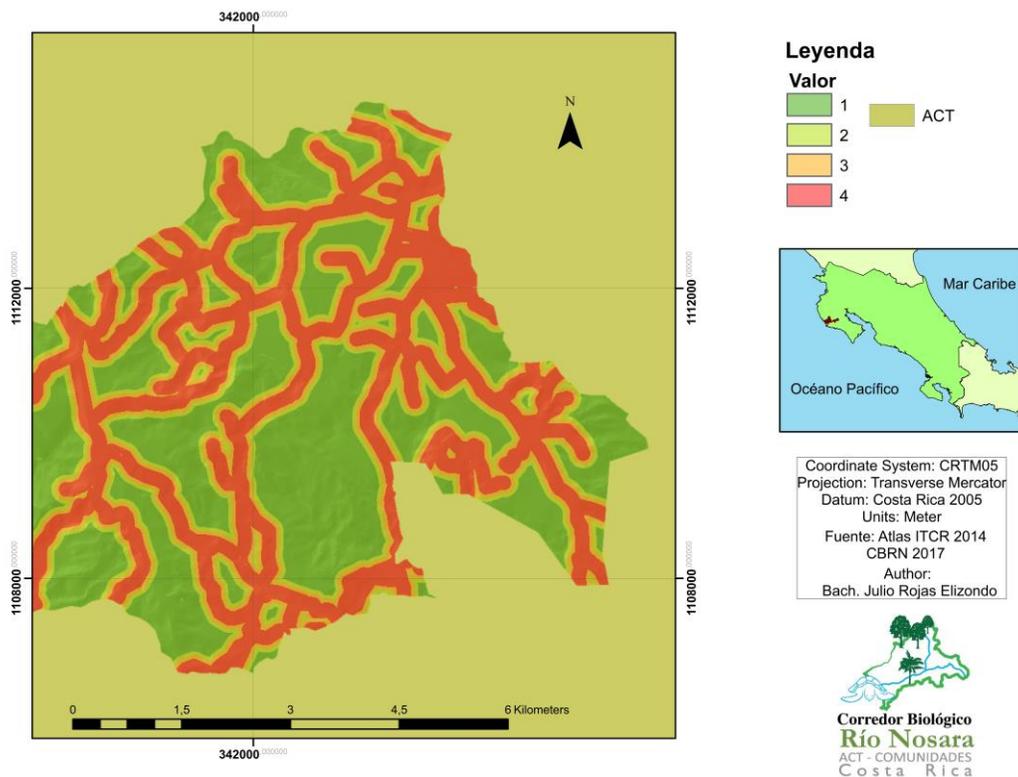


Figura 29 Niveles de resistencia a desplazamiento según cercanía a carreteras en el CBRN

Fuente: A partir de datos de NCA (2017) e ITCR (2014)

Para efectos de esta investigación se tomaron en consideración dos tipos de carretera: secundarias y vecinales, esto principalmente porque las carreteras denominadas como terciarias tienen un nivel de tránsito lo suficientemente bajo como para representar relevancia significativa en la investigación. La figura 29 muestra cómo la cercanía a las carreteras representa niveles de resistencia al desplazamiento más altos.

Con respecto a los centros urbanos, se dice que estos provocan una afectación considerable con respecto a la funcionalidad y la biodiversidad del paisaje (Rojas, de la Barrera, Aranguíz, Munizaga y Pino 2017), dentro del paisaje debe considerarse la complejidad que existe entre usos del suelo y su dinámica y la relación que existe directa con aspectos de movilización de especies en el espacio, especialmente en sitios donde se agrupa gran cantidad de personas.

Rojas et al. (2013) mencionan que en cuanto a temas de expansión urbana se refiere, los sitios más vulnerables son las zonas periurbanas, debido a que actualmente el desarrollo mobiliario busca sitios donde haya más contacto con las áreas de mayor valor natural. Esto, sin una buena planificación, representa una amenaza para efectos de conectividad estructural, de la misma forma que implica mayor resistencia al movimiento de especies cerca de estas áreas, por la misma presión de extensión urbana que se presenta.

Niveles de resistencia al desplazamiento según cercanía a centros poblados en el CBRN

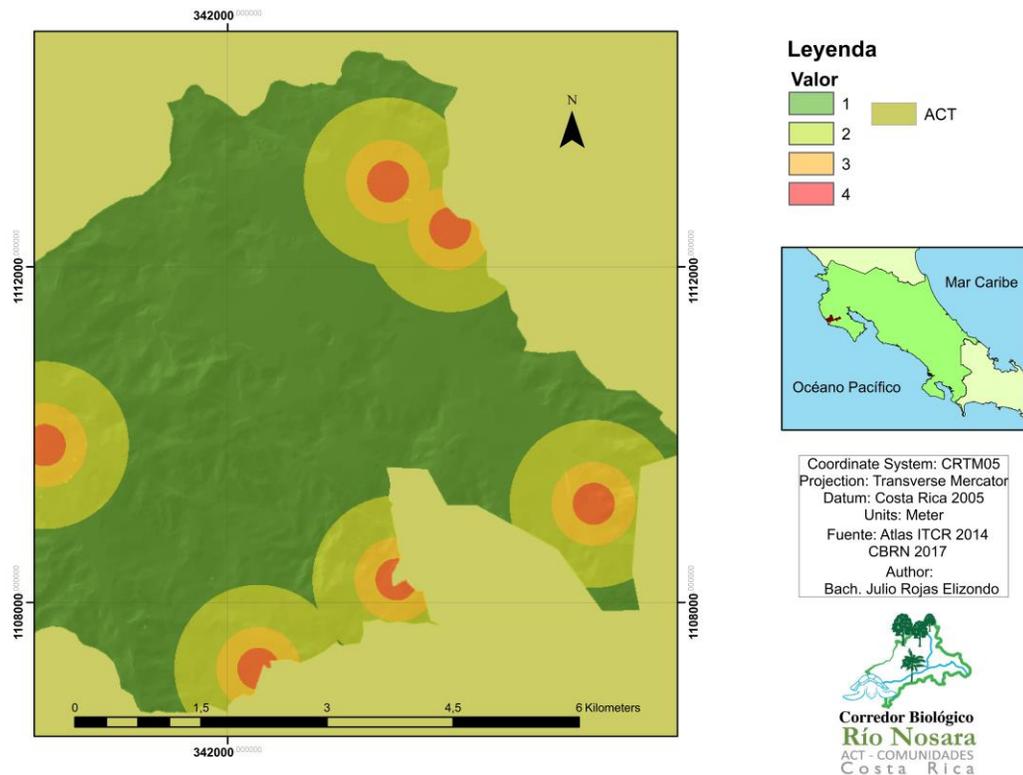


Figura 30 Niveles de resistencia a desplazamiento según cercanía a poblados en el CBRN

Fuente: A partir de datos de NCA (2017) e ITCR (2014)

En la figura 30 se muestra la forma en que la cercanía a los poblados representan dificultad de desplazamiento para las especies. Un aspecto importante a considerar es que en la mayoría de los casos, los centros urbanos del CBRN no son altamente poblados como en otros CB del país, sin embargo, en la región de la cuenca baja (Nosara) existe una fuerte presión por el

tema de expansión urbana, lo cual representa una amenaza para las especies a mediano y largo plazo.

Por último, las ASP representan por su naturaleza operativa y de gestión, espacios de conservación núcleo, además de ser consideradas como fuentes importantes de servicios ecosistémicos (SINAC 2011), lo que las convierte en un norte a la hora de promover esfuerzos de conservación y conectividad ecológica debido a que uno de sus fines principales es servir de “corredores” para especies de importancia tanto a nivel regional como nacional.

Se ha considerado a las áreas silvestres como uno de los aspectos a valorar a la hora de definir los niveles de resistencia, debido a que según la cercanía de un punto a un área protegida, las especies tendrán menor resistencia a moverse debido a la concentración de bosque y al manejo y gestión constante de que reciben para promover conectividad ecológica.

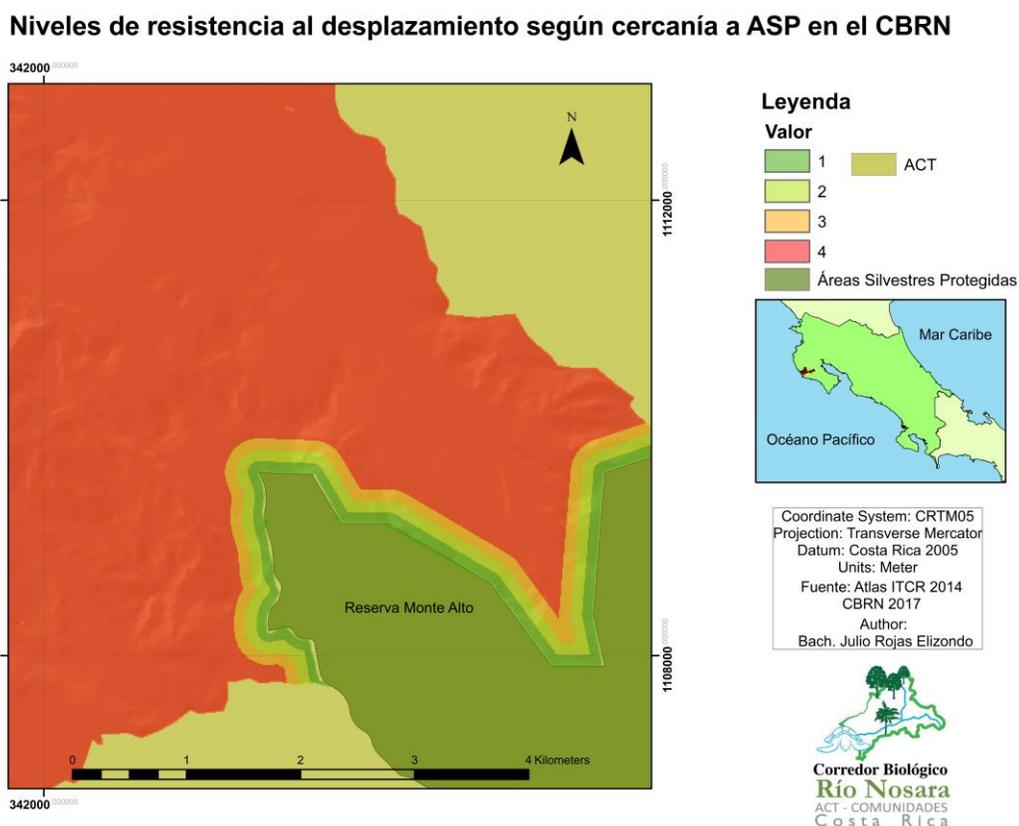


Figura 31 Niveles de resistencia a desplazamiento según cercanía a ASP en el CBRN

Fuente: A partir de datos de NCA (2017) e ITCR (2014)

El área de influencia directa a las áreas protegidas colindantes con el CBRN (Reserva Monte Alto, Refugio Nacional de Vida Silvestre Ostional y el Parque Nacional Diriyá) representa los sitios donde las especies tienen más facilidad para movilizarse, conforme un punto se aleje de estas áreas protegidas, mayor valor de fricción al desplazamiento tendrá.

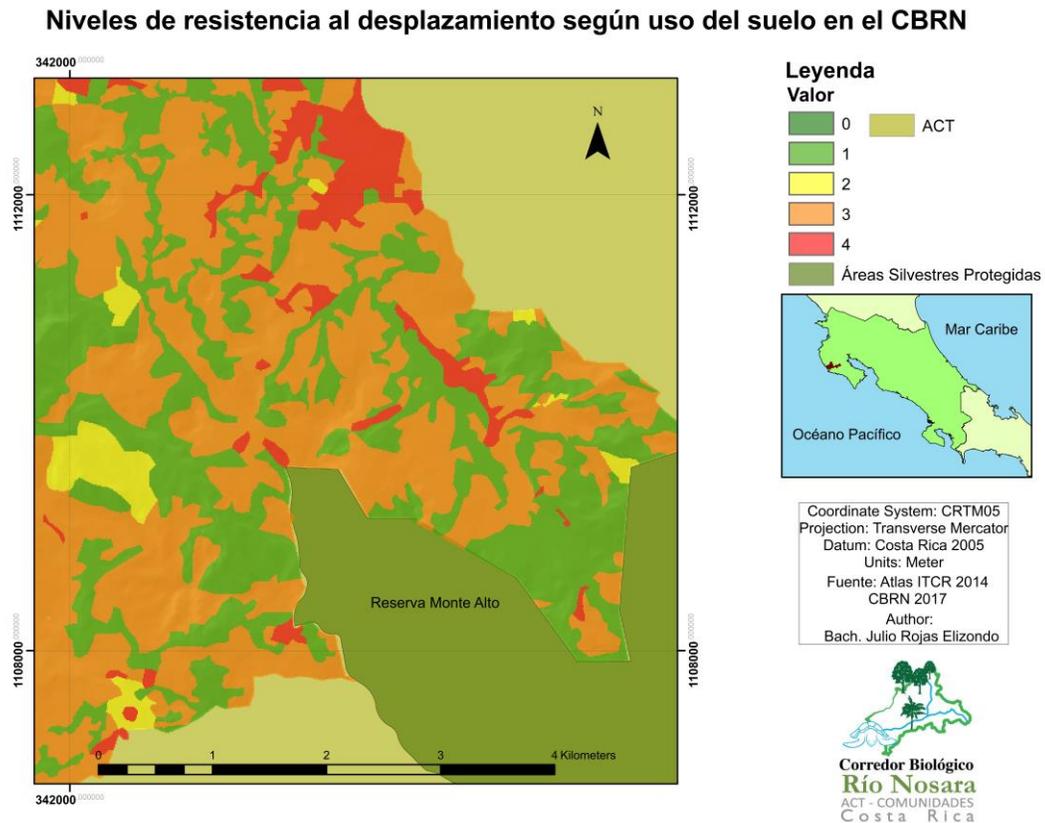


Figura 32 Niveles de resistencia al desplazamiento según uso del suelo en el CBRN

Fuente: A partir de datos de NCA (2017) e ITCR (2014)

El factor de uso de suelo es fundamental en temas de estructura y composición del paisaje, ya que las especies tendrán menores niveles de resistencia al desplazamiento en zonas donde exista mayor cobertura boscosa o algún tipo de estructura que lo propicie (cercas vivas, cortinas rompevientos, etc.). Las zonas urbanizadas y de suelo desnudo representan las áreas con mayor nivel de fricción, por lo tanto, al momento de diseñar las rutas de conectividad, es

importante considerar que si estas áreas se encuentran cerca de las mismas, los procesos de planificación urbana son esenciales para un adecuado desarrollo a nivel de CB.

Al momento de definir la red de conectividad, los enlaces que se puedan establecer entre estas tres áreas son fundamentales, ya que serán los tres puntos principales que se quieren conectar a través del paisaje y cumplir con uno de los objetivos principales de los CB.

Una vez que se han definido los parámetros para determinar los niveles de resistencia, se crea un mapa general con los valores de resistencia sumados a través de la herramienta Map Algebra del SIG, la cual consiste en una suma de valores de cada pixel, determinando en cuáles sitios del CBRN las especies tienen mayor resistencia al desplazamiento.

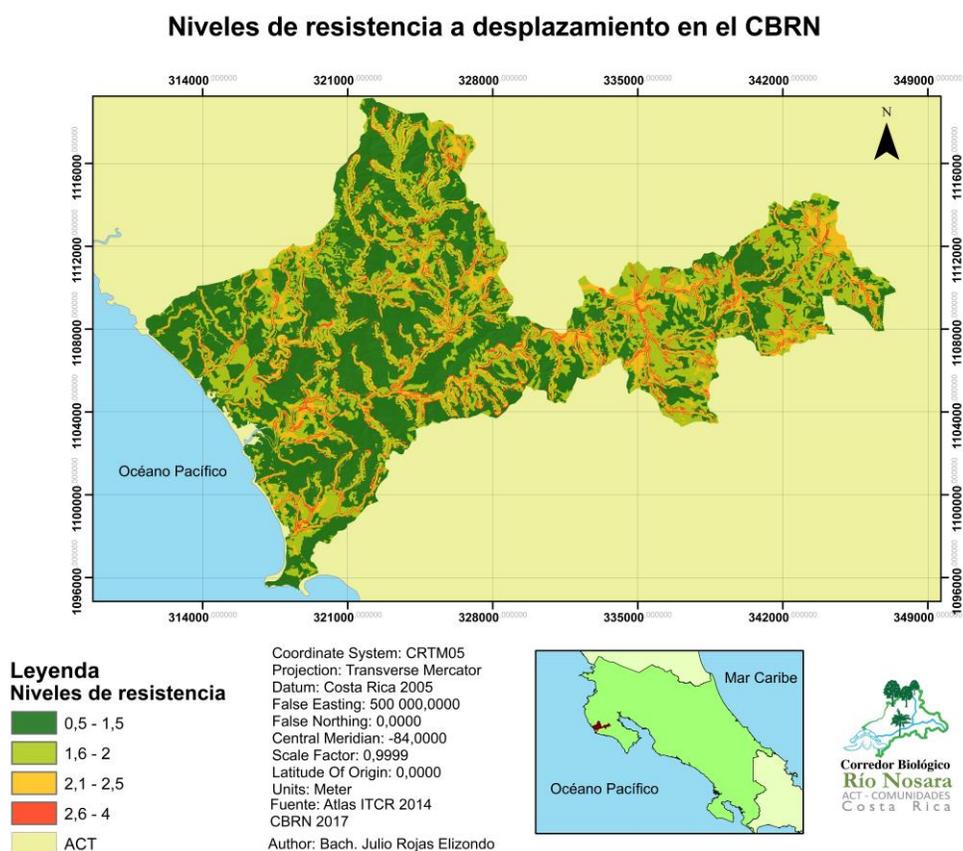


Figura 33 Niveles de resistencia a desplazamiento en el CBRN

Fuente: A partir de datos de NCA (2017) e ITCR (2014)

El mapa anterior es una de las piezas fundamentales para la elaboración de la red de conectividad ecológica estructural del CBRN. Después de obtener las capas ráster de las variables consideradas (red hídrica, ASP, carreteras, centros poblados y uso del suelo) con los valores de resistencia al desplazamiento determinados para cada pixel se hace una sumatoria de estos valores, obteniendo como resultado una sola capa donde se puede apreciar en qué sitios existe más nivel de dificultad al desplazamiento dentro del paisaje, es decir, dónde a las especies les costaría menos o más movilizarse según esas 5 variables.

En la figura 29 se aprecia cómo en la cuenca alta del CBRN existe un nivel de fricción alto de manera más generalizada, debido principalmente al nivel más alto de fragmentación boscosa que existe en este sector de la cuenca, la cuenca alta en cuanto a conectividad ecológica estructural se refiere es una zona crítica, que debe ser analizada e intervenida de manera planificada y adecuada, ya que las especies tienen desde un punto de vista estructural mayor dificultad para desplazarse.

En el momento de asignarle valores de importancia a las variables, la capa de ríos es una de las que más valor tenía, debido a la importancia del agua principalmente en la temporada seca y el esfuerzo que requieren las especies para acceder a ella, es por esto que algunas zonas, especialmente de la cuenca media, cuentan con valores bajos de fricción, y las zonas que tienen valores más altos dentro de esta región son las correspondientes a ríos. Esto quiere decir que gracias a la facilidad de movilidad en la cuenca media, la fricción se encuentra principalmente en la dificultad para acceder al agua debido a pendientes y cercanía a los ríos.

Modelado de la red de conectividad ecológica

A nivel mundial, una de las estrategias de planificación más utilizadas para reducir los efectos de fragmentación de los bosques son las redes de conectividad, ya que estas se relacionan principalmente con el acceso de las especies a los factores que necesitan para cumplir con sus ciclos de vida, tomando en consideración diversas variables que puede afectar de una forma u otra este acceso (Arias et al. 2008)

En el caso de esta red de conectividad ecológica se utilizaron diversas herramientas propias del SIG (Cost Distance, Cost Back Link y Cost Path) las cuales permiten determinar rutas de menor costo a través de un punto de inicio y uno de destino. Estas rutas “buscan” aquellos pixeles dentro del mapa que tengan valores de fricción menores, por lo tanto, desde un punto de vista estructural, el conjunto de rutas representa la red por dónde la especie potencialmente tendrían mayor facilidad de moverse y por ende donde se recomienda enfocar esfuerzos para promover la conectividad en estos sitios.

La propuesta de red de conectividad presentada en este trabajo busca ser una herramienta de planificación y guía para tomadores de decisiones dentro del CBRN sobre qué zonas deben priorizarse y dársele seguimiento en cuanto a temas de conservación, reforestación o educación ambiental, además que dará pie para validaciones futuras en temas de conectividad funcional; por último, esta herramienta busca ser un apoyo para evitar la fragmentación del paisaje, la potencial disminución de especies y ser una guía de trabajo para esfuerzos cooperativos con CB vecinos.

La red de conectividad tiene una distancia total de 71,9 km a través de CBRN, y atraviesa los siguientes usos de suelo: bosque, pastos, pastos con árboles aislados, cultivos (forestales y agrícolas), zonas de tucotucos y zonas urbanas en la cuenca baja, lo cual representa un reto en cuanto a niveles de gestión de la conectividad en esa región del CB.

La red también logra conectar las tres ASP colindantes al CBRN y los parches de bosque considerados como prioritarios en el capítulo tres. Esto implica que bajo una buena gestión de ordenamiento territorial, el CBRN tiene la oportunidad de generar conectividad estructural dentro de su área logrando conectar zonas de interés prioritario.

Propuesta de conectividad ecológica estructural en el CBRN

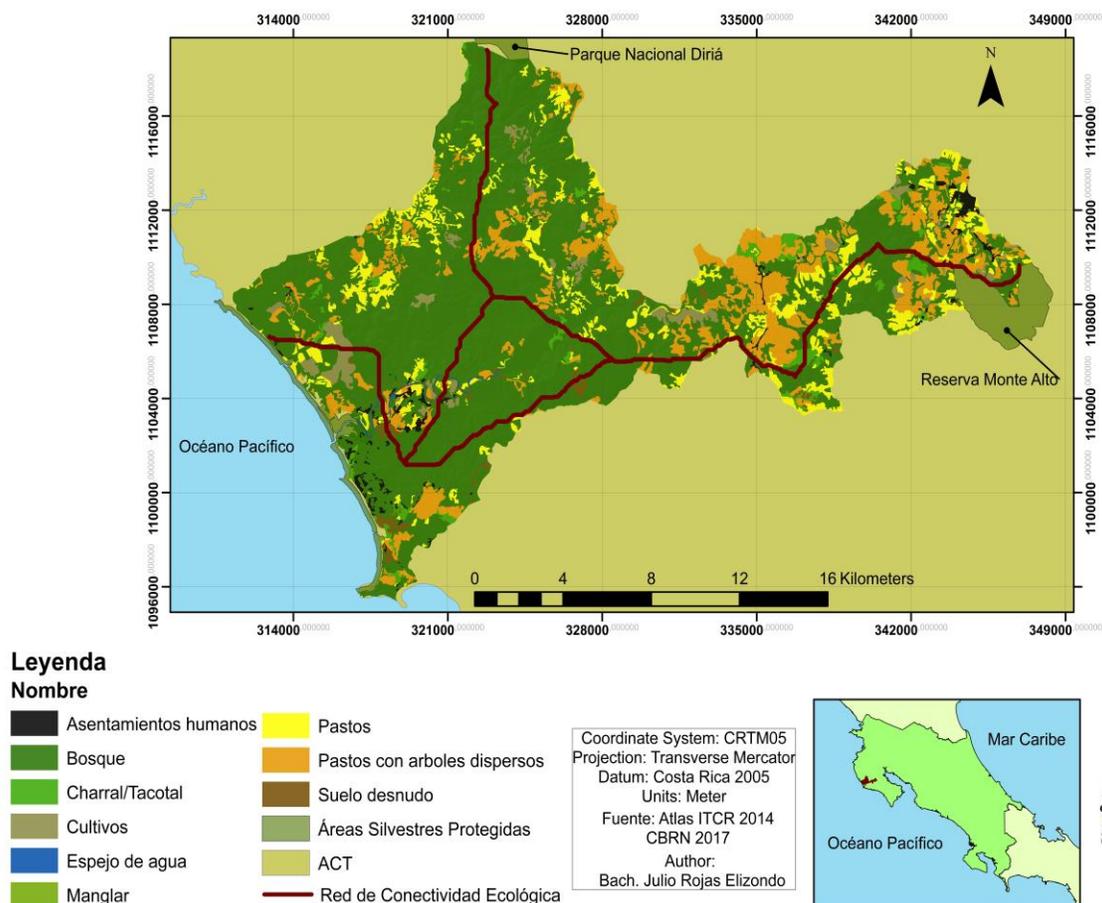


Figura 34 Propuesta de conectividad ecológica estructural en el CBRN

Fuente: A partir de datos de NCA (2017) e ITCR (2014)

La cuenca alta del CBRN es la zona que presenta mayor complejidad en cuanto a estructura y composición del paisaje. Los parámetros de fragmentación de bosque son los más altos del CB y aumentan la dificultad de desplazamiento de las especies.

Al determinar la ruta de conectividad, se observa cómo la misma inicia el recorrido cercano a la Reserva Natural Monte Alto, y se mantiene alejada del centro de Hojancha, posteriormente atraviesa principalmente pastos y pastos con árboles aislados. Es por esto que es fundamental a la hora de planificar, tener en cuenta estrategias de conectividad adecuados para sistemas silvopastoriles, con el fin de tener mayor efectividad.

Propuesta de conectividad ecológica estructural en el CBRN (Cuenca alta)

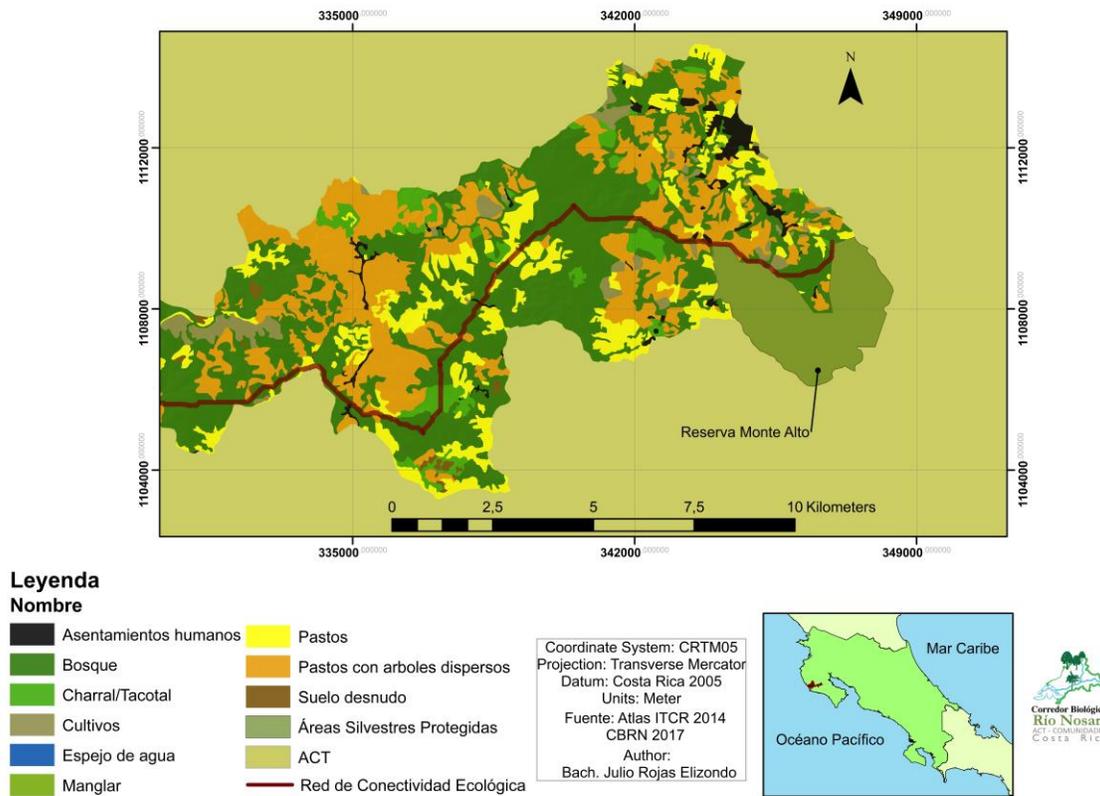


Figura 35 Propuesta de conectividad ecológica en el CBRN (Cuenca Alta)

Fuente: A partir de datos de NCA (2017) e ITCR (2014)

En lo que respecta a la cuenca media, es la región con mayor nivel de conectividad ecológica estructural, la ruta atraviesa casi en su totalidad área boscosa. Las rutas que se encuentran en estas zonas del CB son piezas fundamentales para determinar la funcionalidad de conectividad ecológica, por lo tanto, esta investigación representa el primer paso para determinar en qué sitios potencialmente existe mayor facilidad para movilización de especies y posteriormente realizar validaciones.

Esta zona de convergencia de rutas de conectividad ecológica estructural representa también el punto medio de conexión entre las tres ASP colindantes al CBRN, por lo tanto, su protección, gestión y manejo adecuados con claves para la conservación de las especies.

Propuesta de conectividad ecológica estructural en el CBRN (Cuenca media)

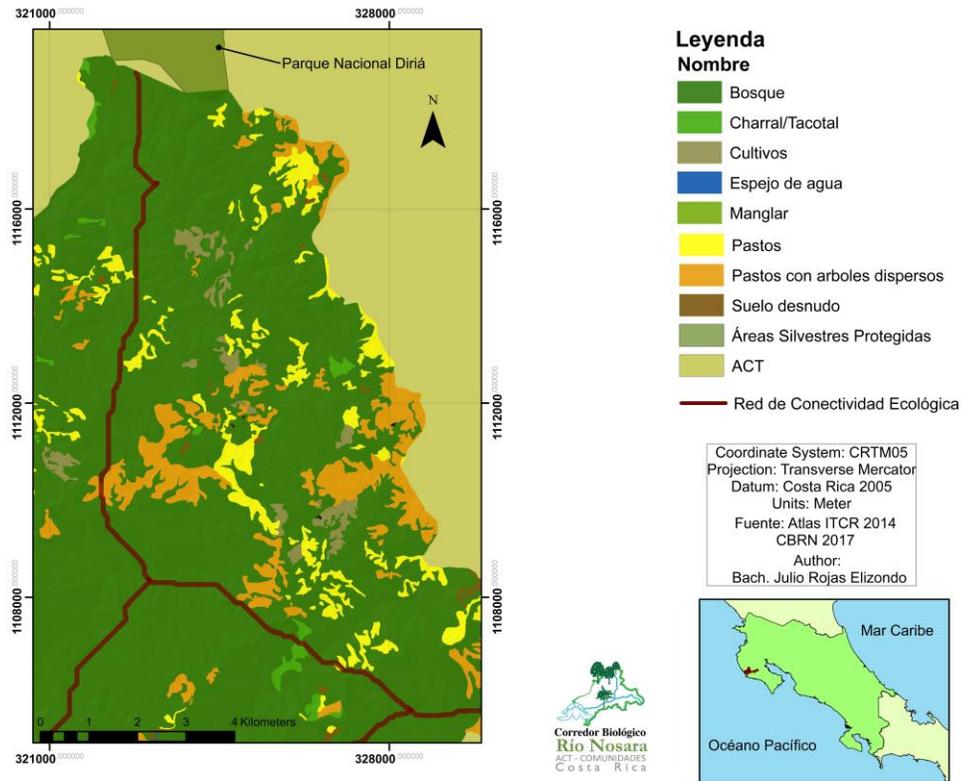


Figura 36 Propuesta de conectividad ecológica estructural en el CBRN (Cuenca media)

Fuente: A partir de datos de NCA (2017) e ITCR (2014)

La cuenca baja por su parte, no presenta niveles de fragmentación del bosque altos como los que presenta la cuenca alta, sin embargo, el expansionismo urbano representa la amenaza más importante para la conservación de especies. Al conectar los dos bloques principales de bosque en la cuenca baja del CB a través de la mejor ruta, se puede observar que esta atraviesa zonas de cultivos agrícolas y forestales, y aunque no tiene contacto directo con zonas pobladas, las cercanía a estas áreas implica que se debe tener una planificación estratégica hacia el desarrollo basado en conservación. Esto con el fin de prevenir que el desarrollo urbano implique mayores niveles de fragmentación y esto genere dificultad para la movilización de especies.

Propuesta de conectividad ecológica estructural en el CBRN (Cuenca baja)

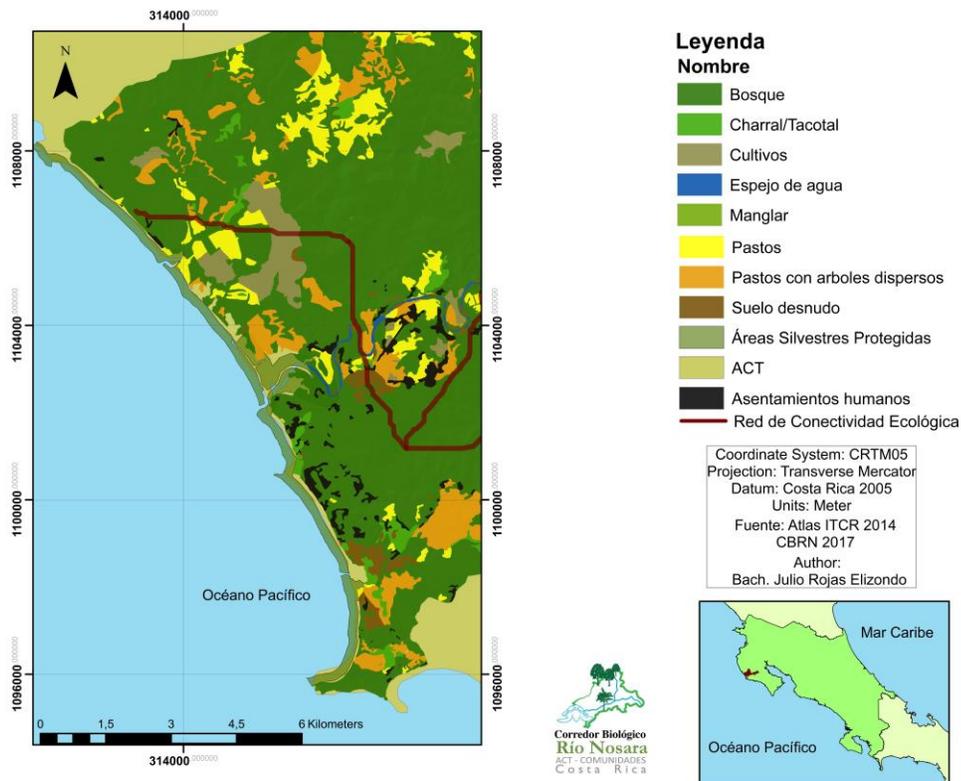


Figura 37 Propuesta de conectividad ecológica estructural en el CBRN (Cuenca Media)

Fuente: A partir de datos de NCA (2017) e ITCR (2014)

Esta propuesta de red de conectividad representa una herramienta clave para procesos de planificación territorial y de gestión comunitaria, además de ser una oportunidad de involucramiento y trabajo conjunto de las comunidades. En procesos de gestión ambiental y comunitaria dentro del CBRN, la red de conectividad muestra los sitios donde se deben enfocar esfuerzos para fomentar conectividad ecológica, lo cual brinda una orientación para las organizaciones, instituciones, empresas privadas y sociedad civil en sus procesos de gestión social, económica y ambiental.

VII Conclusiones

- El CBRN cuenta con un modelo de organización eco-sistémico que permite planificar y ejecutar acciones a través de una estructura basada en sostenibilidad, teniendo como prioridad en su gestión una ordenación integrada del territorio, el recurso hídrico y los recursos vivos.
- La articulación de esfuerzos bien dirigidos dentro del modelo de trabajo conocido como corredor biológico es eficiente, siempre y cuando haya involucramiento y trabajo conjunto por parte de actores claves para el desarrollo y la conservación.
- Existe un potencial aumento de presión a la conectividad ecológica por parte de actividades que actualmente se encuentran en un proceso de crecimiento o tendencia a crecer en el futuro, por lo tanto, la planificación estratégica es fundamental para la buena gestión dentro del CBRN.
- La tendencia a depender de una sola actividad económica, como el caso de turismo en la cuenca baja, puede repercutir en el panorama socioeconómico local a mediano y largo plazo, por lo tanto, debe trabajarse como una oportunidad, para proteger los bosques y enfocar y ampliar la oferta turística hacia un ecoturismo local que fomente conectividad y protección de las especies.
- La gestión de conectividad ecológica estructural en la cuenca alta deben tener un enfoque y una estrategia dirigida hacia lo agrosilvopastoril, con el fin de generar interés en involucramiento por parte de los finqueros, al mismo tiempo que se crean canales de conexión entre los fragmentos de bosque detectados con esta investigación.
- El bosque dentro del CBRN se encuentra concentrado en grandes bloques que están agrupados en la cuenca media, por lo tanto, una adecuada gestión de territorio e involucramiento comunitario en esa región del CB es fundamental para propiciar conectividad entre las ASP colindantes a través del CBRN.

- El CBRN surge dentro del marco de gobernanza ambiental local como una iniciativa que traslapa esfuerzos a lo largo de la cuenca, sin embargo, existe un mayor involucramiento entre las organizaciones que se encuentran en la cuenca baja y alta. Por lo tanto se concluye que falta un involucramiento mayor por parte de las comunidades de la cuenca media, la cual posee el potencial de conectividad ecológica mayor.
- Se demuestra con este trabajo que el método de evaluación multicriterio permite determinar rutas de conectividad según variables establecidas, sin embargo la participación de las personas que viven en la zona es fundamental para determinar los pesos que cada variable representa y como esta composición del paisaje influye en la facilidad de movilización de especies en el CBRN.
- Las condiciones topográficas y climáticas pueden ser una de las principales causantes de la diversidad de usos de suelo dentro de la cuenca, por ejemplo, la zona media de la cuenca cuenta con mayores niveles de pendiente, así como la cuenca alta presenta pendientes menos pronunciadas y mayor desarrollo agrícola.
- La investigación pone en evidencia el valor alto que se le atribuye al agua como factor que propicia conectividad ecológica en el CBRN, ya que en temporada seca la fauna se traslada a zonas cercanas a los ríos permanentes para alimentarse e hidratarse, por lo tanto, la gestión de conectividad en el CB debe tener un enfoque prioritario hacia la red hídrica.

VIII Recomendaciones

- Basado en la metodología de esta investigación, se recomienda hacer una actualización constante en cuanto al mapa de uso de la tierra del CB, especialmente para desglosar tipos de uso del suelo como cultivos y separarlos en forestales y agrícolas, para contar con valores de clasificación tomando en consideración plantaciones forestales como un uso de la tierra distinto.
- Se recomienda también trabajar en la actualización de la información por parte del CBRN cuando se complete el proceso legal y administrativo de unión de la subcuenca del Río Montaña como parte del CBRN, para determinar posibles rutas de conectividad con esta nueva sección.
- El proceso de involucramiento de las comunidades como parte de un modelo de corredor biológico se recomienda debido a que crea un sentimiento de pertenencia a iniciativas comunitarias, así como la motivación de trabajar bajo una orientación común.
- Articular esfuerzos con finqueros agropecuarios de la zona alta de la cuenca es fundamental para establecer y aplicar estrategias compatibles con las necesidades e intereses de esta población, y con esto, tener un mayor impacto a nivel socioambiental y económico.
- A partir de esta red de conectividad, se recomienda explorar con otras propuestas considerando distintos valores de fricción y que consideren nuevos criterios para evaluar, por ejemplo, la calidad de cada fragmento.
- Realizar un proceso de evaluación en conjunto con la comunidad para valorar nuevos puntos de valor ecológico y planificar un proceso de conectividad entre estos y los detectados en esta investigación, para establecer estrategias de conservación.

- Se recomienda ampliar el mapa de uso del suelo del CBRN hacia zonas de influencia del mismo, con el fin de tener una visión de territorio más amplia y poder tener una planificación mejor, considerando el trabajo cooperativo con otros corredores biológicos vecinos.

Bibliografía

AGATHOS NATURA SRL. (2016). *Corredor Biológico Hojanca-Nandayure: Análisis de fragmentación y rutas de conectividad estructural*. Área de Conservación Tempisque. Nicoya, CR: SINAC.

Aguilar, Y., Aliphat, M., Caso, L., Del Amo., Sánchez, M., Martínez-Carrera, D. (2014). *Impacto de las unidades de selva manejada tradicionalmente en la conectividad del paisaje de la Sierra de los Tuxtlas, México*. *Biología Tropical*, 62(3), 1099-1109.

Alonso, A., Dallmier, F., Granek, E., Raven, P. (2001). *Biodiversity: connecting with the tapestry of life*. Washington DC, E.E.U.U. Smithsonian Institution/Monitoring and Assessment of Biodiversity Program and President's Committee of Advisors on Science of Technology.

Arias, E., Chacón, O., Herrera, B., Induni, G., Acevedo, H., Coto, M. & Barborak, J.R. (2008). *Las redes de conectividad como base para la planificación de la conservación de la biodiversidad: propuesta de Costa Rica*. *Recursos Naturales y Ambiente*, (54) 37-43.

Asamblea Legislativa. 1976. *Ley de planificación urbana N°4240*. San José, C.R.

Asamblea Legislativa 1996. *Ley Forestal N°7575*. San José, C.R.

Bennett, A. (2004). *Enlazando el paisaje: El papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre*. San José, C.R.: UICN-Unión Mundial para la Naturaleza.

Bennett, G., Molungoy, KJ. (2006). *Review of experience with ecological networks, corridors and buffer zones*. Montreal, CA. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Technical Series, (23).

Bergoeing, J. (2007). *Geomorfología de Costa Rica*. San José, C.R.: Librería Francesa.

Bierregaard, R., Gascon, C. (2001). *Lessons from amazonia. The ecology and conservation of a fragmented forest*. Michigan, E.E.U.U.: Yale University Press.

Burel, F., Baudry, J. (2002). *Ecología del paisaje, conceptos, métodos y aplicaciones*. Madrid, ES.: Ediciones Mundi-prensa.

Céspedes, M. (2006). *Diseño de una red ecológica de conservación entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas del Área de Conservación Osa, Costa Rica*. (Tesis de Maestría). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, C.R.

Chinchilla, R. (2015). *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*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de Costa Rica. San José, C.R.

Conesa, C., Álvarez, Y., Granell, C. (2004). *El empleo de los SIG y la teledetección en planificación territorial*. Murcia, ES. Universidad de Murcia.

Crooks, K., Sanjayan, M. (2006). *Connectivity conservation*. Cambridge, UK. Cambridge University Press.

Estrada, A., Coates-Estrada, R. (1994). *Las selvas de los tuxtlas, Veracruz: ¿Islas de supervivencia de la fauna silvestre?*. Ciencia y Desarrollo, 20(116).

Feoli, S. (2009). *Corredores Biológicos: una estrategia de conservación en el manejo de cuencas hidrográficas*. Kurú, 6(17).

Fernández, V., Loban, S. y Pinel, M. (2010). *Cooperación internacional como instrumento para el fortalecimiento de las Asociaciones Administradoras de Acueductos y*

Alcantarillados Rurales (ASADAS) en las cuencas de los Ríos Nosara y Grande de Térraba. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de Costa Rica. Heredia, C.R.

Finegan, B., Bouroncle C. (2008). *Patrones de fragmentación de los bosques de tierras bajas, su impacto en las comunidades y especies vegetales y propuestas para su mitigación.* En Harvey, CA; Sáenz, JC. (Ed), *Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica* (pp.139-178). Heredia, C.R.: INBio.

García, F., Abad, J. (2014). *Los corredores biológicos y su importancia ambiental: propuestas de actuación para fomentar la permeabilidad y conectividad aplicadas al entorno del río Cardeña (Ávila y Segovia).* Observatorio medioambiental, 17.

García, R. (2002). *Biología de la conservación: conceptos y prácticas.* Heredia, C.R.:INBio.

Gómez, M., Barredo, J. (2005). *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio.* Madrid: RA-MA Editorial.

Granados, C., Serrano, D., García-Romero, A. (2014). *Efecto de borde en la composición y en la estructura de los bosques templados. Sierra de Monte-Alto, centro de México.* Caldasia, 36 (2).

Harvey, C., Sáenz, J. (Editores) (2008). *Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica.* 1 Edición. Heredia, C.R.: INBio.

Hernández, A. (2010). *Capacidad del uso de la tierra y los cambios en la cuenca del Río Nosara, Guanacaste, 1979-2006.* Tecnología en marcha, 23(3).

Iglesias, C., Díaz, E., Cuenca, J. (2013). *Conectividad ecológica e infraestructuras lineales: el caso histórico del Parque Natural de Despeñaperros.* Valladolid, ES.: Universidad de Valladolid.

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2015). *VI Censo Nacional Agropecuario*. 1 Edición. San José, C.R.: INEC.

Kattan, G. (2002). *Fragmentación de patrones mecanismos de extinción de especies*. En Guariguata, MR; Kattan, GH. (Ed), *Ecología y conservación de bosques neotropicales* (pp. 561-590). Cartago, C.R.: Ediciones LUR.

López-Barrera, F., J. Armesto, G. William-Linera, C. Smith-Ramírez y R. Manson (2007). *Fragmentation and edge effects on plant- animal interactions, ecological processes and biodiversity*. En: A.C. Newton (ed), pp 69-101. *Biodiversity loss and conservation in fragmented forest landscapes: The forests of montane Mexico and temperate South America*. Wallingford, United Kingdom.

Louman, B.; Quirós, D.; Nilsson, M. (Eds.), (2001). *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central*. Turrialba, C.R: CATIE.

Mas, J; Sandoval, JC. (2002). *Análisis de la fragmentación del paisaje en el área protegida "Los Petenes", Campeche, México*. Investigaciones geográficas. Boletín del instituto de Geografía, UNAM. 43: 42-59.

Moizo, P. (2004). *La percepción remota y la tecnología SIG: una aplicación en ecología del paisaje*. Revista internacional de la ciencia y la tecnología de la información geográfica. Geofocus – Universidad de la república de Uruguay. (4): 1-24.

Monge-Nágera, J. (2004). *Historia natural de Guanacaste*. San José, C.R.: EUNED.

Murphy, H., Lovvet-Doust, J. (2004). *Context and connectivity in plant metapopulations and landscape mosaics: does the matrix matter?* Oikos, (105) 3-14.

Murrieta, E. (2006). *Caracterización de cobertura vegetal y propuesta de una red de conectividad ecológica en el Corredor Biológico Volcánica Central – Talamanca, Costa*

Rica. (Tesis de maestría). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, C.R.

Nason, J. (2002). *La estructura genética de las poblaciones de árboles*. En Guariguata, MR., Kattan, GH. (Ed). *Ecología y Conservación de Bosques Neotropicales*. Libro Universitario Regional. Cartago, C.R.

Nosara Civic Association (NCA). (2003). *Un retrato de la realidad económica en Nosara y Sámara: proporcionando las herramientas para el desarrollo sostenible*. Center for responsible travel. Nosara, C.R.

Ortega, S. (2009). *Propuesta de red de conectividad entre remanentes de bosque y cacaotales en dos paisajes Centroamericanos*. (Tesis de maestría). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, C.R.

Peters, H. (2001). *Clidemia hirta Invasion at the Pasoh Forest Reserve: An Unexpected Plant Invasion in an Undisturbed Tropical Forest*. *Biotropica*, (33) 60-68.

Primack, R., Feisenger, R., Dirzo, R., Massardo, F. (1998). *Fundamentos de conservación biológica: perspectivas latinoamericanas*. México D.F., MX. Fondo de cultura económica.

Programa Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible (Costa Rica). (2016). *Vigesimosegundo informe estado de la nación en desarrollo humano sostenible*. San José, C.R.: PEN-CONARE.

Ramos, Z. (2004). *Estructura y composición de un paisaje boscoso fragmentado: Herramienta para el diseño de estrategias de conservación de la biodiversidad*. (Tesis de maestría). Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, C.R.

Rojas, C., de la Barrera, F., Aranguíz, T., Munizaga, J. Pino, J. (2017). *Efectos de la urbanización sobre la conectividad ecológica de paisajes metropolitanos*. *Revista Universitaria de Geografía*, 26(2) 155-182.

Rojas, P. (17 de agosto del 2016). *País en deuda para evitar atropellos de animales*. Crhoy. Recuperado de: <https://www.crhoy.com>

Ricketts, T. (2001). *The matrix matters: effective isoation in fragmented ladscapes*. The American Naturalist, 158(1) 87-99.

Salazar, M., Campos, J., Prins, C., Villalobos, R. (2007). *Restauración del paisaje en Hojancha, Costa Rica*. Turrialba, C.R.: CATIE.

Sistema Nacional de Áreas de Conservación SINAC. (2008). *Guía práctica para el diseño, oficialización y consolidación de corredores biológicos en Costa Rica*. San José, C.R.: SINAC-MINAE.

Sistema Nacional de Áreas de Conservación SINAC. (2011). *Políticas para las áreas silvestres protegidas (ASP) del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) de Costa Rica*. San José. C.R.: SINAC-MINAE.

Sistema Nacional de Áreas de Conservación SINAC. (2017). *Experiencia de manejo participativo Fundación Pro Reserva Forestal Monte Alto*. San José, C.R.: SINAC-MINAE.

Soto, E. (29 de setiembre del 2013). *Crece producción de naranja en Costa Rica*. El Financiero. Recuperado de: <https://www.elfinancierocr.com/>

Turner, M., Gardner, R., O'Neil, R. (2001). *Landscape ecology in theory and practice: pattern and process*. Springer, E.E.U.U.

Useche, D. (2006). *Diseños de redes ecológicas de conectividad para la conservación y restauración del paisaje en Nicaragua, Centroamérica*. (Tesis de maestría). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, C.R.

Wiersma, F. y D. Urban (2005). *Beta diversity and nature reserves system design in the Yukon, Canada*. Conservation Biology 19: 1262-1272.