

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

**ANCHO ÓPTIMO DE LAS RUTAS DE CONECTIVIDAD BIOLÓGICA, EN EL
SUBCORREDOR BARBILLA-DESTIERRO, ZONA CENTRAL-CARIBE DE
COSTA RICA.**

TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIADO EN INGENIERÍA
FORESTAL

Oscar Gómez Chavarría

CARTAGO, COSTA RICA

Diciembre, 2014

ANCHO ÓPTIMO DE LAS RUTAS DE CONECTIVIDAD BIOLÓGICA, EN EL SUBCORREDOR BARBILLA-DESTIERRO, ZONA CENTRAL-CARIBE DE COSTA RICA.

Resumen

El presente estudio se realizó en la provincia de Limón y Cartago, Costa Rica, donde se ubica el Subcorredor Biológico Barbilla-Destierro (SCBD). El objetivo general fue determinar el ancho idóneo para rutas principales de desplazamiento de especies silvestres en el SCBD. En el material y métodos se utilizó análisis de datos espaciales con el programa ArcGIS 10.1, se verificó la cobertura actual del sitio por medio de una matriz de validación. Se ponderaron variables físico ambientales para la creación de una capa de resistencia para realizar la modelación de las rutas de costo a la conectividad entre áreas protegidas. A la ruta principal de conectividad se le realizó un análisis de la conectividad estructural de las coberturas naturales, por medio de métricas de evaluación de paisaje para tres distintos anchos de 250, 500 y 1000 m. La matriz de validación mostró una concordancia de 70% entre los datos de campo y los teóricos, con un error de 72%. Se obtuvieron 14 rutas de diferente costo a la conectividad, presentando variaciones marcadas en cuanto a su distribución. Se concluyó que el ancho de 500 m mostro los mejores valores promedio en cuanto diversidad, distancia al vecino más cercano, numero de parches, tamaño promedio parches, relacionado con el área total evaluada para cada uno de los anchos.

Palabras clave: Conectividad, paisaje, fragmentación, corredores biológicos, SIG, Subcorredor Barbilla-Destierro, resistencia, Costa Rica.

OPTIMAL ROUTE WIDTH OF BIOLOGICAL CONNECTIVITY IN THE SUBCORREDOR Barbilla-Destierro, CENTRAL CARIBBEAN AREA OF COSTA RICA.

Abstract

This study was conducted in the province of Limon and Cartago, Costa Rica, where the Subcorredor Biológico Chin-Exile (SCBD) is located. The overall objective was to determine the main routes suitable for displacement of wildlife in the SCBD wide. Analysis of spatial data with ArcGIS 10.1 software was used for the material and methods, the current coverage of the site was verified by a matrix validation. Physical environmental variables for creating a resistance layer for modeling cost routes to connectivity between protected areas were weighted. The main route connectivity was performed an analysis of the structural connectivity of natural hedges, through evaluation of landscape metrics for three different widths of 250, 500 and 1000 m. The validation matrix showed a 70% concordance between field data and theoretical, with an error of 72%. 14 routes of different cost connectivity were obtained, showing marked variations in their distribution. It was concluded that the width of 500 m showed the best average values regarding diversity, distance to the nearest neighbor, number of patches, mean patch size related to the total area evaluated for everyone of the widths.

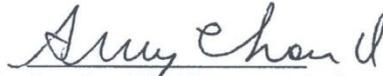
Key Words: Connectivity, landscape, fragmentation, biological corridors, GIS, Subcorredor Barbilla-Destierro, endurance, Costa Rica.

Esta tesis de graduación ha sido aceptada por el Tribunal Evaluador de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica y aprobada por el mismo como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura.

ANCHO ÓPTIMO DE LAS RUTAS DE CONECTIVIDAD BIOLÓGICA, EN EL SUBCORREDOR BARBILLA-DESTIERRO, ZONA CENTRAL-CARIBE DE COSTA RICA.

Miembros del tribunal

Miembros del tribunal



Lic. Ana Cecilia Chaves Quirós

**Instituto Costarricense de Electricidad- Instituto Tecnológico de Costa Rica
Directora de tesis**



**Lic. Ana Julieta Calvo Obando
Instituto Tecnológico de Costa Rica**

Lector 1



**Lic. Franklin Zamora Esquivel
Instituto Costarricense de Electricidad**

Lector 2



**Oscar Gómez Chavarría
Estudiante Escuela Ingeniería Forestal
Instituto Tecnológico de Costa Rica**

DEDICATORIA

A Dios por darme el don de la vida, por brindarme salud cada mañana, darme la fuerza y capacidad de enfrentar los retos que se presentan en el camino de la vida.

A mis padres por su dedicación y amor incondicional, a lo largo estos años de esfuerzo para asegurarme una buena educación.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y hermanos por darme su confianza, apoyo y motivación en todo momento.

A mi directora de proyecto de graduación Anny Chaves Quirós, por compartir toda su sabiduría y experiencia. Quien me brindo una mano amiga y sincera de trabajo y esfuerzo, además de la oportunidad de demostrar mi conocimiento y aporte profesional.

Al ICE por darme la opción de realizarme profesionalmente, a cada uno de los funcionarios que acogieron de buena manera y brindaron ayuda en la realización del proyecto.

A cada uno de los profesores y funcionarios de la escuela de Ingeniería Forestal que de una u otra forma ayudaron en mi crecimiento y formación profesional, en especial a mi amigo Braulio Vílchez por ser un buen maestro, compa, guía, consejero; quien me desmostro que la las limitaciones nos las ponemos nosotros mismos y no debemos juzagar por la apariencia de las personas.

A Joha que durante estos años fue mi motor de impluso, motivación y apoyo, mi compañera, mi confidente y mi mejor amiga. Me enseñó lo bueno que podemos ser si hacemos las cosas de la mejor manera y que nunca debemos darnos por menos ante nadie.

A todos los compas que conoci en el camino universitario, especialmente los de fores con los cuales comparti experiencias inolvidables, palmadas increíbles, trabajos y proyectos. A todos los que ayudaron y transmitieron su conocimiento a lo largo de toda la carrera en especial a mis compas y amigos el flaco, guanaco y betillo con los que comparti de especial manera mi vida universitaria.

Indice General

Resumen.....	ii
Abstract.....	iii
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
Índice de Cuadros	viii
Índice de Figuras.....	viii
Índice de Anexos.....	viii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
3. MATERIALES Y MÉTODOS	4
3.1. Área de estudio.....	4
3.2. Fuentes de información	6
3.3. Validación de la Cobertura 2012 del SCBD.	7
3.3.1. Análisis de datos	7
3.4. Análisis de conectividad dentro del Subcorredor Barbilla - Destierro.....	8
3.4.1. Análisis de la conectividad Funcional	9
3.4.2. Análisis de la conectividad estructural.....	15
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
4.1. Matriz de Validación.....	17
4.2. Análisis de la Conectividad Funcional.....	18
4.3. Análisis de la conectividad estructural.....	24
4.4. Propuesta de la red de conectividad	30
4. CONCLUSIONES	32
5. RECOMENDACIONES.....	33
6. REFERENCIAS.....	34
7. ANEXOS	37

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Área del Subcorredor Barbilla Destierro en cada Área de Conservación.	4
Cuadro 2. Valores de resistencia asignados a los diferentes usos del suelo modificado de Gurrutxaga (2004).	10
Cuadro 3. Valores de resistencia asignados a las diferentes distancias a poblados modificado de Calvo (2009).	11
Cuadro 4. Valores de resistencia asignados a los diferentes tipos de carretera... ..	11
Cuadro 5. Valores de resistencia asignados a los diferentes órdenes de ríos elaborado a partir de Calvo (2009).	12
Cuadro 6. Valores de resistencia asignados a las diferentes distancias euclidianas entre fragmentos de cobertura natural modificado de Calvo (2009).	13
Cuadro 7. Valor de peso de las variables a utilizar para la creación de la capa de resistencia.	14
Cuadro 8. Índices de fragmentación del paisaje.	16
Cuadro 9. Matriz de Validación de Cobertura dentro del SCBD.	17
Cuadro 10. Variables estadísticas evaluadas para la determinación de la conectividad estructural del paisaje, para tres anchos de 250, 500 y 1000 m de la ruta principal de conectividad dentro del Subcorredor Barbilla-Destierro.	25

Índice de Figuras

Figura 1. Área geográfica que ocupa el Subcorredor Barbilla-Destierro.	5
Figura 2. Mapa de Resistencia a la Conectividad Presente en el Subcorredor Biológico Barbilla Destierro.	19
Figura 3. Mapa de Áreas Núcleo y Sitios de Interés para la Conservación y Conectividad presentes en el Subcorredor Biológico Barbilla Destierro.	21
Figura 4. Mapa de rutas de costo al desplazamiento, dentro del Subcorredor Biológico Barbilla-Destierro.	23
Figura 5. . Mapa de anchos evaluados en la ruta principal del Subcorredor Biológico Barbilla Destierro.	29

Índice de Anexos

7.1. Anexo 1. Ecuación para el cálculo del estadístico Kappa.	37
7.2. Anexo 2. Clasificación de ríos según Horton (1945) modificado por Strahler (1957).	38
7.3. Anexo 3. Fórmula para la determinación del valor de la resistencia a la conectividad extendida por los ríos.	38
7.4. Anexo 4. Fórmula para la determinación del valor de la resistencia a la conectividad extendida para la fragmentación.	39
Anexo 5. Lista de participantes en la encuesta de priorización de capas de información para elaborar el mapa de conectividad de los corredores biológicos de Costa Rica Realizado en el SINAC, San José, Costa Rica; el 03/07/2009.	39

1. INTRODUCCIÓN

La biodiversidad de las especies del planeta representa un factor determinante en las relaciones bióticas que mantienen el sano funcionamiento de los ecosistemas (Bustamante, Simonetti y Grez, 2006). La pérdida de cobertura boscosa de los paisajes naturales del planeta crea una matriz de fragmentación con diferentes coberturas como; bosque, suelo descubierto, pasto, cultivos agrícolas, infraestructura, entre otros, esto limita el desarrollo ecológico de las especies (Bustamante, 1995; Gavier, 2004; Sánchez y Rebolar 1999). Por esta razón se busca contrarrestar la heterogeneidad del paisaje al establecer estrategias para asegurar la conectividad entre fragmentos y áreas protegidas de distintos hábitat, como son parques nacionales, corredores biológicos, reservas mixtas y privadas.

La sociedad costarricense ha decidido invertir cuantiosos recursos desde hace más de medio siglo en el establecimiento de las áreas protegidas, que hoy suman un total de 166, representando más del 26% de la superficie nacional (SINAC, 2011), las cuales constituyen un importante laboratorio natural donde es posible realizar estudios para verificar la efectividad en la conservación de la biodiversidad.

Durante el desarrollo de la propuesta de ordenamiento territorial para la biodiversidad GRUAS II (SINAC, 2007) se realizó un análisis de vacíos de conservación en el país, el cual se consideró de manera prioritaria las rutas de conectividad entre áreas protegidas que pasaban por algún vacío de conservación, así mismo se tomó en cuenta si en la zona ya existían

iniciativas para la conservación o establecimiento de un corredor. De esta manera es como se establece el Subcorredor Biológico Barbilla-Destierro (SCBD) o corredor del jaguar, ya que representa la posibilidad de enlazar a Mesoamérica con Suramérica, a través de la Cordillera Volcánica Central y la Cordillera de Talamanca.

Como parte del plan de gestión ambiental generado a partir del Estudio de Impacto Ambiental elaborado por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), para la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón (PH Reventazón) el cual se encuentra inmerso en el SCBD, el ICE creó alianzas estratégicas con el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Fundación Panthera y (SINAC) para desarrollar estudios sobre conectividad y de esta manera asegurar la conservación ecológica del sitio.

La zona del SCBD presenta un área total de 36.121,5 ha, está compuesta por un 68,41% de bosque localizado en su mayoría al este del SCBD, mezclado con amplia gama de pastos para ganadería ubicados principalmente al oeste con un 26,76%, lo cual muestra un paisaje muy heterogéneo y fragmentado en el sector.

Los estudios de monitoreo de fauna más recientes encontraron un total de 37 especies de anfibios, 25 de reptiles, 69 de mamíferos y 344 de aves demostrando altos índices de diversidad (ICE, 2014). Además resulta un sitio importante para la sobrevivencia de las poblaciones de Jaguar (*Panthera onca*) el cual es el depredador más grande de América y que actualmente está en peligro de extinción (UICN, 2012).

El presente estudio tiene como objetivo determinar el ancho efectivo para rutas de desplazamiento de especies silvestres en el SCBD, en función de las necesidades ecológicas y permeabilidad de las mismas, así como las rutas que representen un alto costo para el desplazamiento. De este modo poder realizar recomendaciones técnicas y evaluar la efectividad de la inversión del ICE en el proyecto de Pago doble por Servicios Ambientales (PSA) enfocado en la futura cola sur del embalse PH Reventazón.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Determinar el ancho idóneo para rutas de desplazamiento de especies silvestres en el SCBD.

2.2. Objetivos específicos

- Seleccionar y ponderar las variables físico ambientales identificadas como barrera para la modelación espacial.
- Integrar la información físico ambiental del sitio para obtener modelos costo-distancia y definir conectividad efectiva para las especies.
- Identificar el ancho actual efectivo de la banda de conectividad, en función del uso del suelo, permeabilidad de matriz y necesidades ecológicas de las especies.

- Realizar la propuesta de una red de conectividad en el Subcorredor Barbilla-Destierro.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

El estudio se realizó en el Corredor Biológico Volcánica Central-Talamanca (CBVCT) orientado en el Subcorredor Biológico Barbilla-Destierro (SCBD), el cual posee una extensión aproximada de 36121,5 ha, se encuentra ubicado en tres áreas de conservación: Área de Conservación de la Cordillera Volcánica Central (ACCV) y Área de Conservación La Amistad- Caribe (ACLA-C) y Área de Conservación Tortuguero (ACTO) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Área del Subcorredor Barbilla Destierro en cada Área de Conservación.

Área de Conservación	Ha	%
CORDILLERA VOLCANICA		
CENTRAL	8615,47	23,85
LA AMISTAD CARIBE	27112,41	75,06
TORTUGUERO	392,70	1,09
Total	36120,57	100

Fuente: ITCR 2008

Ubicado geográficamente en el cuadrante de coordenadas: 530000 - 570000 longitud oeste y 1092000 - 1116000 latitud norte en la proyección CRTM05, datum WGS84. La distribución política-administrativa del SCBD se distribuye un sector en el Noreste del cantón de Turrialba en la provincia de Cartago y otra parte en el oeste de los cantones de Guácimo, Matina y al Sur del cantón de Siquirres en la provincia de Limón, Costa Rica (Figura 1).

Ubicación y Cobertura del Subcorredor biológico Barbilla-Destierro

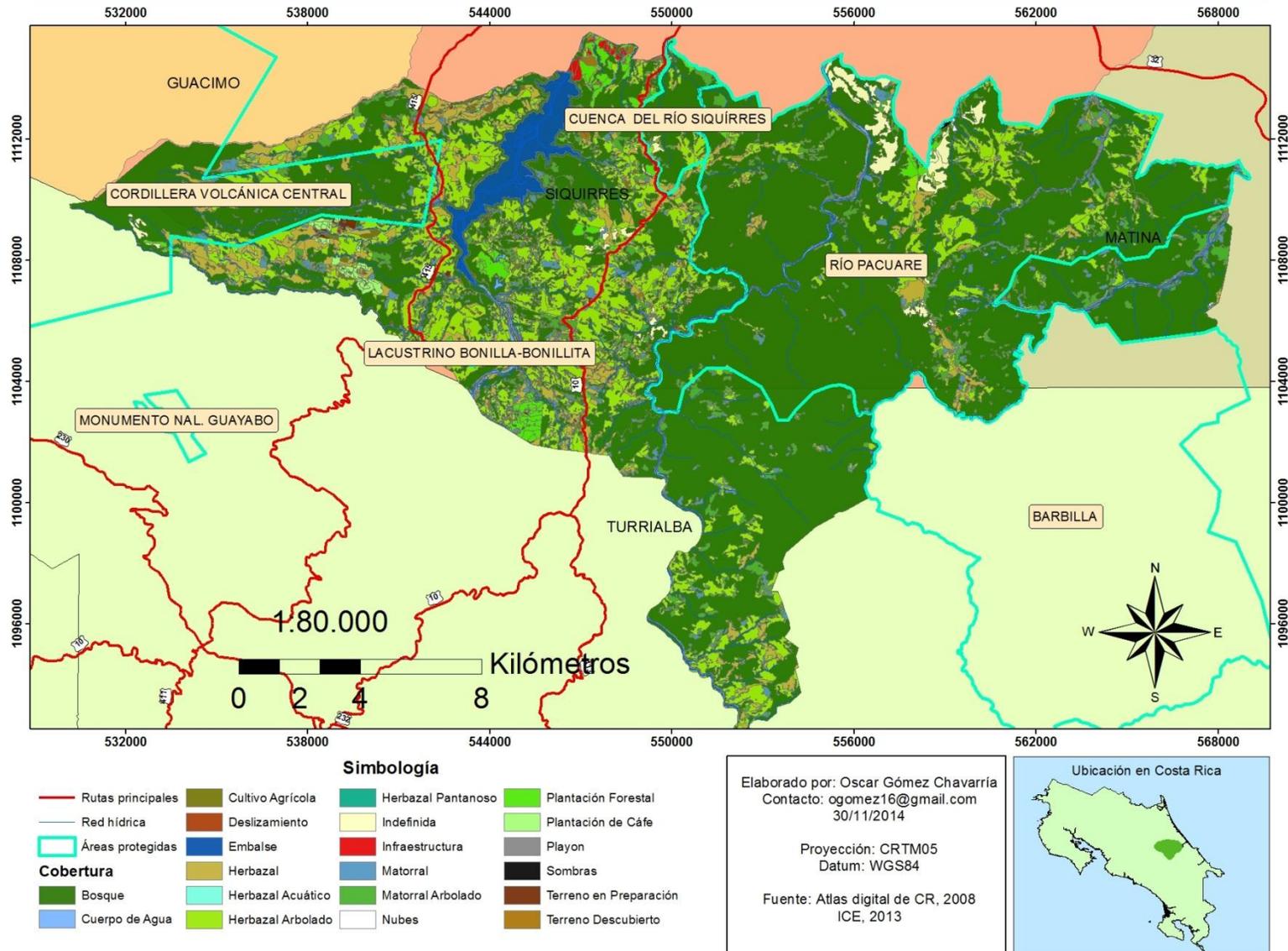


Figura 1. Área geográfica que ocupa el Subcorredor Barbilla-Destierro.

Su rango altitudinal va desde los 100 msnm en el distrito de Siquirres hasta los 2400 msnm en el distrito Santa Teresita que pertenece al cantón de Turrialba (ITCR, 2008). Las condiciones climáticas que imperan están influenciadas por el sistema de vientos alisios que ingresan desde la vertiente del Caribe. La distribución de las lluvias es uniforme a lo largo del año; la precipitación anual promedio oscila de los 3000 mm en la zona sur y hasta de 5000 mm en la zona Noreste del SCBD (IMN, 2014).

En el SCBD se encuentran las zonas de vida: bosque pluvial premontano (bp-P), bosque pluvial montano bajo (bp-MB), bosque muy húmedo premontano (bmh-P), bosque muy húmedo premontano transición a basal (bmh-P6) bosque muy húmedo tropical (bmh-T), bosque muy húmedo premontano transición pluvial (bmh-P4) y bosque muy húmedo tropical transición a premontano (bmh-T12) según la clasificación de zonas de vida de Holdridge (Bolaños y Watson, 1993).

3.2. Fuentes de información

Se utilizó la base de datos facilitados por el CATIE y PANTHERA sobre datos geográficos y mapas de avistamientos de las especies por teledetecciones para determinar las zonas prioritarias para los pasos de fauna. Se trabajó con la capa de datos digitalizada de uso actual de la tierra en el SCBD elaborado por el ICE 2013, con datos de imágenes satelitales pancromáticas obtenidas de los satélites World View con resolución espacial 0.5 metros (2012), Ikonos-2 (2011) y de misión CARTA 2005. Los datos geográficos de las rutas propuestas para el paso de fauna dentro del SCBD fueron brindados por el CATIE (2012) para realizar el análisis.

Se utilizó la base de datos del Atlas Digital de Costa Rica ITCR (2008) para la toma de datos concerniente a: áreas de conservación, cantones, poblados, ríos, caminos, áreas protegidas y modelo de elevación digital (MED).

3.3. Validación de la Cobertura 2012 del SCBD.

Se realizó un muestreo aleatorio de campo en donde se tomaron 166 puntos de control por todas las clases de cobertura. Se utilizó un receptor del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) marca Garmin modelo 62sc, configurado en la proyección CRTM05. Se tomó una distancia estimada visual en metros de la orilla de la calle al centro de la cobertura y el azimut medido con una brújula marca Suunto hacia el centro de la cobertura entre 0 y 360 grados.

3.3.1. Análisis de datos

Se generó una matriz de error o matriz de confusión, para comparar la clasificación de la cobertura del SCBD (ICE, 2013) contra validación de los puntos de control tomados en el campo. Los datos de campo se procesaron con el programa ArcGis 10.1. La tabla es una matriz cuadrada, en las columnas se colocaron los datos de referencia, datos de cobertura evaluados en el campo. En las filas se colocaron los datos de la clasificación del ICE. La diagonal mayor muestra el número de puntos de muestreo correctamente clasificados, los datos ubicados por encima de la diagonal corresponden a los errores de comisión, áreas que no debieron haber sido colocadas en una determinada categoría, los

que se encuentra por debajo de la diagonal serán los errores de omisión, áreas que deberían haber sido una clase y no lo fueron (ERDAS, 2010).

A partir de la matriz de error, se calculó la exactitud del usuario y la exactitud total, la primera se obtuvo de la división del número de puntos correctamente clasificados, entre el total de puntos clasificados en esa clase; es decir, el total en la fila para esa clase. Esta proporción mide la probabilidad de que un píxel clasificado en esa clase sea realmente de ese tipo en el campo. La exactitud total se calculó con la suma sólo de los datos en la diagonal mayor de la matriz, entre el total de puntos clasificados (Lillesand y Kiefer, 1994).

Se utilizó el cálculo del estadístico Kappa (Khat) (Hudson y Ramn, 1987) (Anexo 1), este mide la diferencia entre el acuerdo mapa-realidad observado y analiza la probabilidad de que los resultados de una clasificación sean producto del azar. El coeficiente Khat expresa que valor de Khat = 1, indica un total acuerdo entre la clasificación hecha en la capa de cobertura y la validación de campo, mientras que un valor que tiende a 0 sugiere que los acuerdos en la clasificación mostrados en la diagonal mayor son producto del azar.

3.4. Análisis de conectividad dentro del Subcorredor Barbilla - Destierro

La secuencia para la evaluación de la red de conectividad en el SCBD se desarrolló mediante un SIG con el programa ArcGIS 10.1.

3.4.1. Análisis de la conectividad Funcional

3.4.1.1. Definición y ponderación de los valores de resistencia

Se integró la metodología propuesta por Gurrutxaga (2004), Bouroncle (2007), Calvo (2009) y Salom *et. al* (2013), para el presente estudio se utilizaron capas de información de: uso del suelo, distancia de población humana, carreteras, orden de ríos y (e) fragmentación; a cada variable se le asignó un valor de resistencia para la conectividad.

Posteriormente se transformaron las capas de información vectorial, a formato raster con la herramienta del ArcToolbox/Conversion tools/Feature to Raster, en todas las capas se utilizó un valor de pixel de 10 m por 10 m. Con el fin de realizar la reclasificación de los datos originales se trabajó con el complemento ArcToolbox/Spatial Analyst/Reclass/Reclassify. Una vez expresada cada característica de forma numérica y realizada la respectiva reclasificación se creó la capa de resistencia sumando el costo de cada variable y simultáneamente se multiplico el peso de las mismas, esto con la herramienta del ArcToolbox/Spatial Analyst tools/Map Algebra/Raster Calculator.

a) Uso del suelo

Los diferentes usos del suelo obtenidos de la digitalización de imágenes satelitales realizada por el ICE (2013), fueron reclasificados en nueve categorías a cada una se les asigno un valor de resistencia para la conectividad, se tomó el

embalse como una barrera total para la conectividad por esta razón se le asignó un valor de resistencia de 1000 como se observa en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Valores de resistencia asignados a los diferentes usos del suelo modificado de Gurrutxaga (2004).

Cobertura 2013		
Uso del suelo	Reclasificación	Resistencia
Matorral	1	1
Matorral Arbolado	1	1
Bosque	1	1
Plantación Forestal	2	15
Herbazal Arbolado	3	50
Herbazal	3	50
Plantación de Café	3	50
Plantación de Café con Sombra	3	50
Matorral Arbolado de Frutales	3	50
Infraestructura	4	100
Terreno agrícola en preparación	4	100
Deslizamiento	4	100
Playón	4	100
Terreno Descubierta	4	100
Cultivo Agrícola	4	100
Área Quemada	4	100
Cuerpo de Agua	4	100
Herbazal Acuático	5	1
Herbazal Pantanoso	5	1
Sombras	6	100
Nubes	7	100
Indefinida	8	100
Embalse	9	1000

b) Poblados

Se utilizó la digitalización de poblados de Costa Rica 1: 50 000. Se realizó una única clasificación ya que los poblados evaluados fueron categoría P2: grupo mediano de casas que cuenta con algún punto de referencia (iglesia, escuela, plaza). Para la determinación de las distancias a poblados se trabajó el complemento Multiple Ring Buffer del ArcToolbox/Analysis tools/Proximity la cual

crea anillos múltiples, para este estudio se establecieron distancias cada 100 m hasta una distancia máxima de 1000 m, esto para delimitar una zona de influencia a cada poblado. Y se reclasificaron con los valores de resistencia mostrados en el cuadro 3.

Cuadro 3. Valores de resistencia asignados a las diferentes distancias a poblados modificado de Calvo (2009).

Distancia buffer (m)	Resistencia
100	100
200	90
300	80
400	70
500	60
600	50
700	40
800	30
900	20
1000	10

c) Caminos

Se utilizó la digitalización de la red de caminos de Costa Rica 1: 200 000. Donde se clasifica las rutas según la Ley General de Caminos Públicos N° 5060. A la capa de datos se le asignó un código de información para realizar la respectiva reclasificación de las rutas, como se observa en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Valores de resistencia asignados a los diferentes tipos de carretera.

Carreteras	Código	Resistencia
Ruta nacional cuyo código se encuentra entre: 1-99	Red vial Nacional Primaria Código: 1	1000
Ruta nacional cuyo código se encuentra entre: 100-299	Red vial Nacional Secundaria Código: 2	60
Ruta nacional cuyo código se encuentra entre: 300 en adelante	Red vial Nacional Terciaria Código: 3	40

Fuente: Calvo (2009)

d) Ríos

Se tomó la capa digitalizada de ríos 1: 50 000, a la misma se le aplicó la clasificación de órdenes según Horton- Strahler (Anexo 2) de manera manual, con soporte del modelo de elevación digital (MED) de Costa Rica y la capa de cuencas hidrográficas Costa Rica. Los valores de resistencia mostrados en el siguiente cuadro fueron calculados por medio de una ecuación exponencial la cual expresa un aumento en la resistencia conforme aumenta el orden del río (Anexo 3), a los ríos de orden nueve se le asignó un valor de resistencia de 1000, ya que estos se consideraron como una barrera total para la conectividad.

Cuadro 5. Valores de resistencia asignados a los diferentes órdenes de ríos elaborado a partir de Calvo (2009).

Orden Horton-Strahler	Resistencia
1	1
2	14
3	33
4	50
5	64
6	76
7	85
8	93
9	1000

e) Fragmentación

Se seleccionaron los fragmentos de cobertura natural como lo son bosque, plantación forestal, y matorral arbolado (este último se entiende como un bosque secundario en regeneración para efectos de este estudio) de la capa de uso del suelo elaborada por ICE (2013). Se aplicó el comando Euclidean Distance del ArcToolbox/Spatial Analyst /Distance, con la finalidad de definir la distancia

euclidiana entre los fragmentos de cobertura natural. Cuan mayor sea la distancia entre fragmentos menor será el aumento en el valor de resistencia como se muestra en el Cuadro 6, el cambio en los valores se presenta de forma exponencial (Anexo 3). Una vez establecidas las cifras de resistencia se procedió a estandarizarlas a una escala continua de 1-100 con la ecuación $y= 24,74\ln(x)- 50,889$ (donde x =valor calculado en la ecuación exponencial, y =valor de resistencia estandarizado).

Cuadro 6. Valores de resistencia asignados a las diferentes distancias euclidianas entre fragmentos de cobertura natural modificado de Calvo (2009).

Distancia euclidiana	Resistencia
10	1
40	33
70	55
100	67
130	75
160	81
190	85
220	88
250	90
280	92
310	93
340	95
370	96
400	97
430	97
460	98
490	99
520	99
550	100
583	100

A cada variable físico ambiental se le asignó un valor de peso para la conectividad, este se basó en la ponderación realizada por Calvo (2009) donde se determinó cada valor promedio desde una comparación de pares, tomando en

cuenta los valores asignados por un comité de expertos en temas Biológicos (Anexo 4). Donde $Rios+Carreteras+Poblados+ Cobertura+ Fragmentación= 1$ como se muestra en el cuadro 7.

Cuadro 7. Valor de peso de las variables a utilizar para la creación de la capa de resistencia.

	Variable					Total
	Ríos	Carreteras	Poblados	Cobertura	Fragmentación	
Peso	0,088	0,146	0,109	0,219	0,438	1
%	8,8	14,6	10,9	21,9	43,8	100

Fuente: Calvo (2009)

3.4.1.2. Selección de Áreas Núcleo para la Conectividad

Se manipuló la capa vectorial de información del uso del suelo del SCBD, en donde se identificaron los sitios potenciales de hábitat prioritarios para la conservación entre los fragmentos de cobertura de bosque, con áreas interiores mayores a 10 ha. Para seleccionar los fragmentos prioritarios se utilizó una aproximación de su valor para la conectividad estructural, recurriendo el complemento para la creación de áreas núcleo ArcGIS 10.1 Patch Analyst/ Create Core Areas.

Esta herramienta toma en cuenta el efecto borde el cual se define como el resultado de la interacción entre dos hábitats cuando sus fronteras son muy desiguales. Entre mayor sea el número de parches en un proceso de fragmentación aumenta la relación existente entre el perímetro/área de los fragmentos, creando un ambiente de borde expuesto a la incidencia de múltiples factores físicos y ambientales (Motos, 2012).

Se tomaron los fragmentos de bosque aledaños a los sitios de interés para la conectividad como lo son Reserva Forestal del Pacuare, La Zona Protectora del Río Siquirres y los territorios indígenas; como elementos de origen o fuente de organismos y la capa de resistencia como superficie de costo, para calcular la relación costo-distancia acumulada en las rutas de desplazamiento entre fuentes, con la herramienta Path cost. Los datos de rutas de coste resultante representa la dificultad que supone para una especie alcanzar cada punto del territorio desde las zonas o puntos de origen (bosques), así se determina la permeabilidad del paisaje para las especies.

3.4.2. Análisis de la conectividad estructural

Para la determinación de la conectividad estructural se evaluó la composición paisajística de la ruta principal de conectividad dentro del SCBD, para la misma se evaluaron tres anchos diferentes: 250, 500 y 1000 metros, a cada uno se realizó un análisis de los parches de la cobertura natural de importancia para la conectividad en formato raster. Se utilizó el complemento de ArcGIS 10.1 Patch Grid/ Spatial Statistics, el cual realiza un análisis por clase y paisaje, las estadísticas espaciales que se evaluaron fueron densidad de parches, métricas de tamaño y métricas de diversidad.

Cuadro 8. Índices de fragmentación del paisaje.

Índices	Acrónimo	Estadístico	Unidades
	NumP	Numero parches	Numero fragmentos
Densidad Parches- Métricas de Tamaño	MedPS	Tamaño medio del parche	ha
	DP	Densidad parches	Nump/100ha
	PSSD	Desviación estándar de tamaño de parche	ha
Métricas de Diversidad	SDI	Índice de Diversidad de Shannon	
	MNN	Media al vecino más cercano	m
Área por clase	CA	Área clase	ha
Área total paisaje	TLA	Área paisaje	ha

Las métricas de tamaño toman en cuenta el área que ocupa cada parche en el espacio, la densidad de parches se expresa en el número de parches encontrados por cada 100 ha. En el análisis de la diversidad paisajística se evaluaron dos métricas, la distancia media al vecino más cercano (MNN), este muestra el promedio de las distancias de borde a borde entre parches de la misma clase y el índice de diversidad de Shannon disponible para paisaje que muestra una tendencia a cero cuando solo existe un parche en el paisaje y aumenta a medida que los tipos de conexiones o distribución proporcional de los tipos de parches amplía (McGarigal y Marks, 1994).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Matriz de Validación

Cuadro 9. Matriz de Validación de Cobertura dentro del SCBD.

Cuenta de Visita campo	Etiquetas de columna									
Etiquetas de fila	Bosque	Cuerpo de Agua	Cultivo agrícola	Herbazal	Herbazal arbolado	Infraestructura	Matorral	Matorral Arbolado	Plantación forestal	Total general
Bosque	45		1		2			3		51
Cuerpo de Agua		5								5
Cultivo agrícola	1		1		1					3
Herbazal			1	5	1		1			8
Herbazal arbolado	5		2	5	42		1	6	1	62
Infraestructura	1				1	6				8
Matorral							2			2
Matorral Arbolado	1	1			1		1	14		18
Plantación forestal									4	4
Total general	53	6	5	10	48	6	5	23	5	161

El cuadro anterior explica la similitud mostrada entre los datos teóricos de la digitalización de la capa de cobertura y los mostrados en el campo, donde 124 puntos coincidieron con la cobertura real, presento un Khat: 0.7, que muestra un 70% de similitud entre el productor y el verificador de cobertura. Se obtuvo un error global de 72.05, esto indica que se pudo producir errores en la toma de datos de campo, incertidumbre del gps en la toma de datos, así como posibles errores de interpretación humana en el momento de realizar la digitalización.

4.2. Análisis de la Conectividad Funcional

Los datos de resistencia obtenidos a partir de la ponderación de las variables físico ambientales, muestran una capa de degradación de colores como se observa en la Figura 2, los valores más bajos se presentaron en las zonas donde se posee mayor cobertura natural y cercanía a las áreas de protección. Estos aumentan conforme se acerca a sitios de mayor perturbación como lo son carreteras, poblados, ríos de caudales considerables y en su mayoría áreas cubiertas por pastos o cultivos agrícolas. La zona de ubicación del embalse del PH Reventazón y la carretera 10 que permite el tránsito entre Turrialba y Siquirres, presentaron un valor de resistencia de 266 siendo los más altos, ya que fueron determinados como barreras totales cuando se realizó la ponderación de las variables físico ambientales.

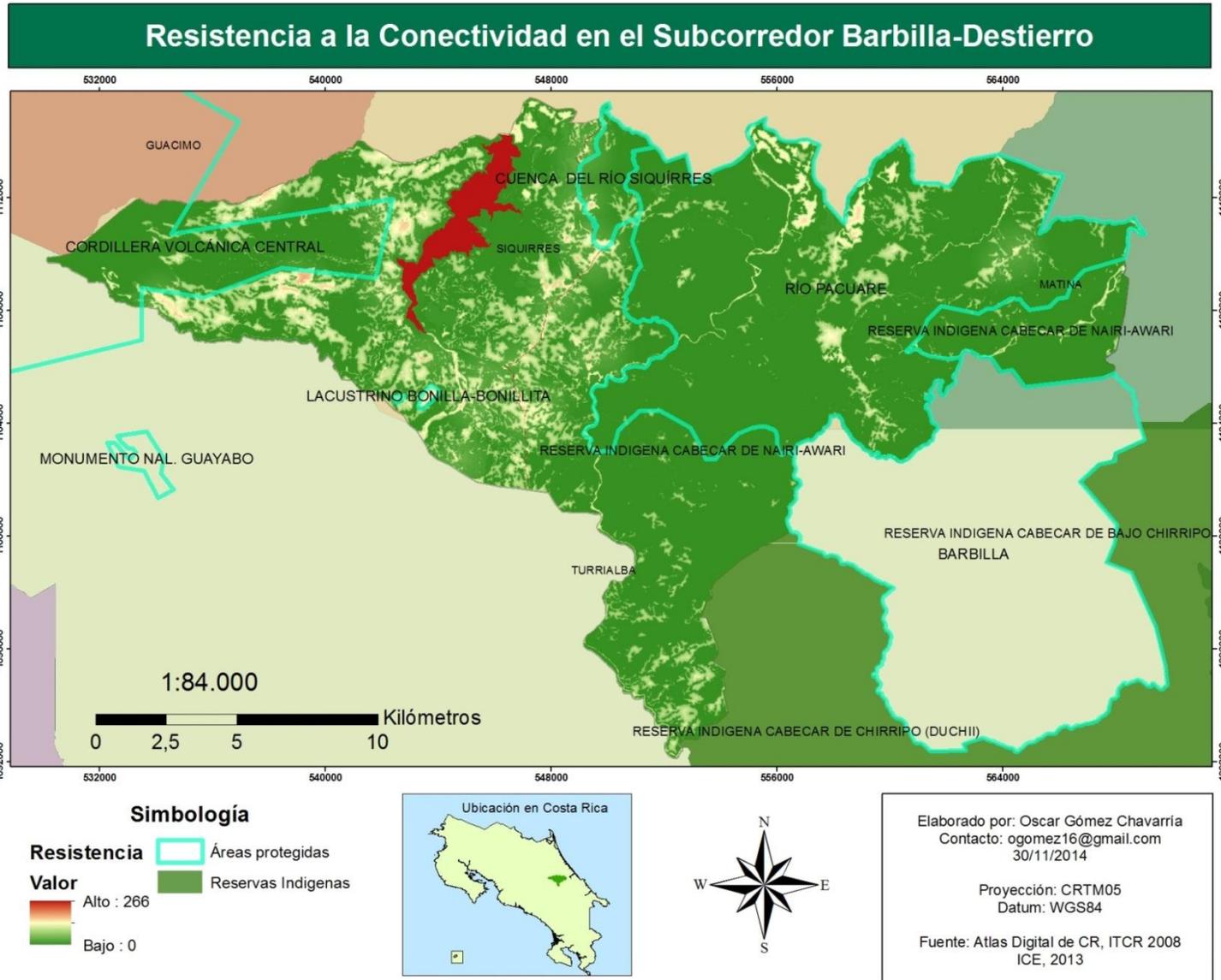


Figura 2. Mapa de Resistencia a la Conectividad Presente en el Subcorredor Biológico Barbilla Destierro.

En el análisis del territorio se determinó sitios de interés para la biodiversidad, lo cuales se encontraron colindantes a las áreas protegidas según lo establece el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). En el sector noroeste se prestó especial atención a la zona conectora del SCBD con la Cordillera Volcánica Central (CVC) (Figura 3), esta es una de las principales cordilleras de Costa Rica y funciona como trampolín de conexión y fuente de recursos para especies silvestres, en una la zonas más fragmentadas del país como lo es la Gran Área Metropolitana (GAM).

El análisis del sitio también mostro zonas de importancia para la biodiversidad en los sectores norte y este del SCBD, donde se ubicaron la cuenca protectora del río Siquirres, la reserva forestal del Pacuare las cuales se encuentran dentro del Subcorredor, la reserva indígena Cabecar de Nairi-Awari y el Parque Nacional Barbilla este último se encuentra en el límite este del SCBD.

Además de que funcionan como fuente de recursos estas zonas permiten el paso de especies del sur del país hacia el norte, por esta razón es que la importancia del SCBD radica en que es la única conexión posible entre las poblaciones de fauna del sur del territorio costarricense (jaguar) con el resto del país y Mesoamérica (SINAC, 2007).

La selección de áreas núcleo para la conexión entres parches de bosque dentro del SCBD (Figura 3) permitió determinar los puntos de origen y destino de las rutas de menor costo al desplazamiento. También se pudo ubicar los parches de bosque de menor y mayor tamaño, así se determinaron zonas específicas para incentivar la protección por pago de servicios ambientales (PSA) y restauración de los hábitats circundantes.

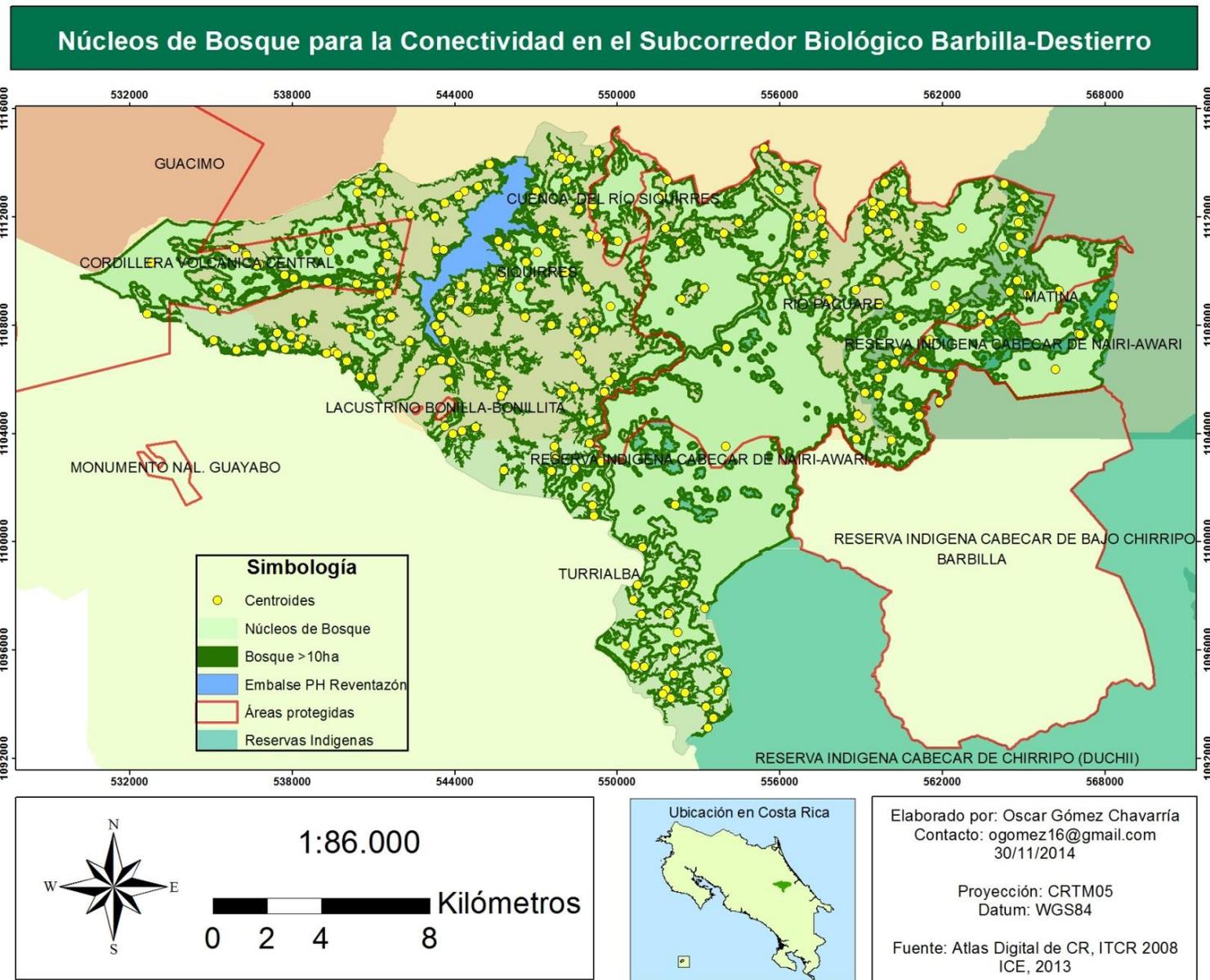


Figura 3. Mapa de Áreas Núcleo y Sitios de Interés para la Conservación y Conectividad presentes en el Subcorredor Biológico Barbilla Destierro.

La parches de bosque mayor a 10 ha, arrojaron un total de 64 fragmentos, donde el mínimo valor fue de 10.38 ha y el máximo de 10465.15 ha, obteniendo un valor medio de 358,49 ha donde 57 fragmentos se encuentran por debajo de la media, mientras que solo siete lo sobrepasan. La desviación estándar fue de 1377.72 ha, esto nos indica que la diferencia entre los tamaños de parche es considerable, ya que la mayoría de los parches de bosque que se encuentran sobre la media poseen áreas muy grandes con un valor promedio de 2675.17 ha, esto explica porque se posee una desviación estándar tan alta.

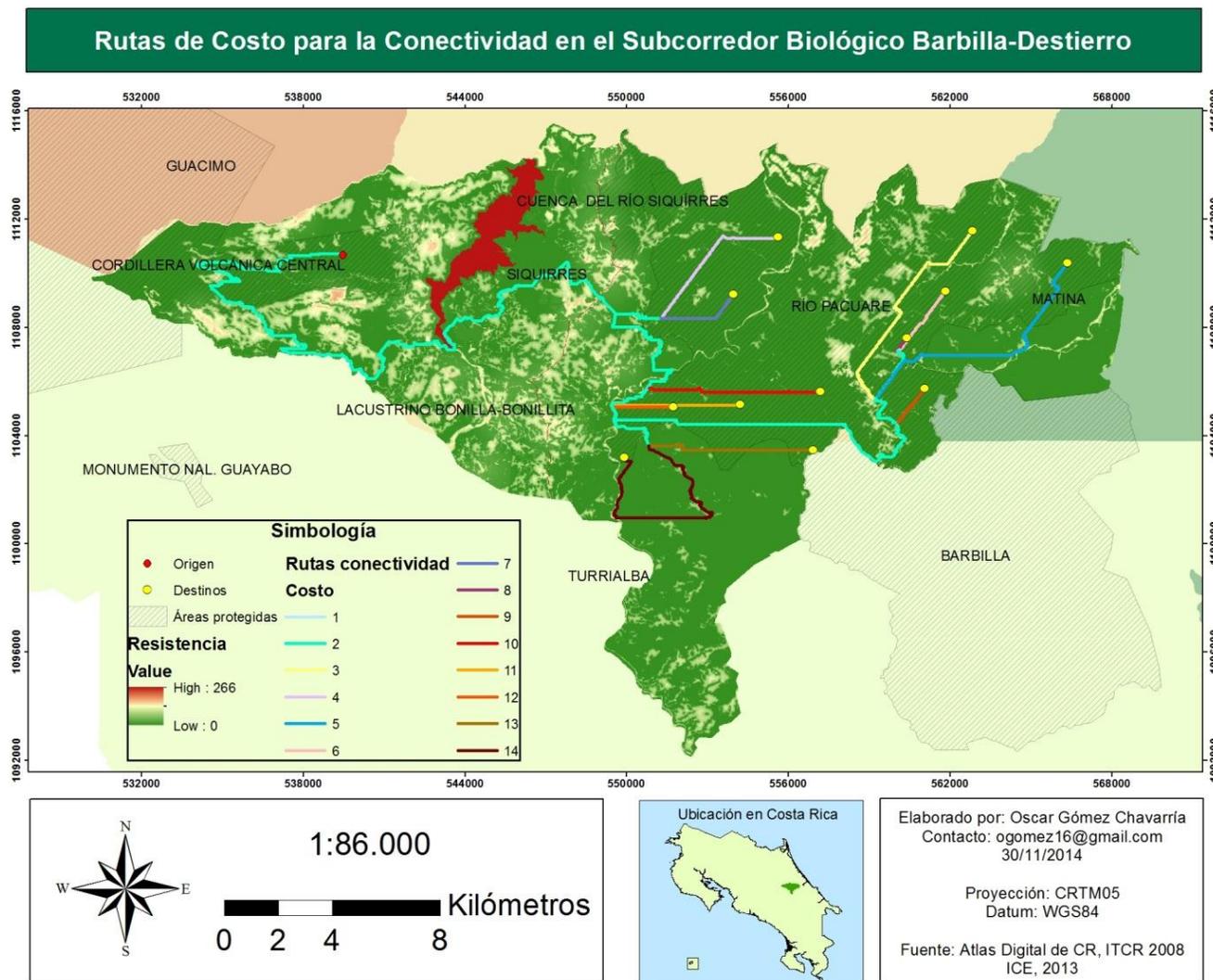


Figura 4. Mapa de rutas de costo al desplazamiento, dentro del Subcorredor Biológico Barbilla-Destierro.

La figura anterior muestra las rutas de costo obtenidas en la modelación, mostrando 14 costos diferentes ya que cada una de las rutas presento mayor o menor resistencia, esto dependió de la resistencia ejercida en cada sector del SCBD. Las rutas que presentaron mayor costo se ubicaron al este del corredor. Estas se plantearon para ser tomadas en cuenta en estudios posteriores para la colocación de cámaras trampa y así medir la efectividad en el paso de la fauna.

4.3. Análisis de la conectividad estructural

4.3.1. Métricas de tamaño

Al realizar el análisis estadístico del paisaje de coberturas naturales para los tres anchos 250, 500 y 1000 m alrededor de la ruta principal de conectividad del SCBD, se obtuvo que la clase de cobertura de matorral arbolado fue la que presentó mayor NumP con 62,134 y 243 respectivamente. Mientras que plantaciones forestales fue la clase que presento menor número de fragmentos con 2, 3 y 8. El bosque fue la categoría que presento un valor intermedio para los tres anchos con 56, 88 y 166, según Salom *et. al* (2014) la pérdida neta forestal de la zona para los años de 1989 – 2008 fue de 24447.12 ha lo que evidencia un deterioro de la cobertura natural desde años anteriores, que a su vez explica el porqué de un paisaje tan fragmentado.

Cuadro 10. Variables estadísticas evaluadas para la determinación de la conectividad estructural del paisaje, para tres anchos de 250, 500 y 1000 m de la ruta principal de conectividad dentro del Subcorredor Barbilla-Destierro.

Métricas Paisaje		Clase			Paisaje	
		Bosque	Matorral Arbolado	Plantación Forestal		
Métricas de tamaño	NUMP250	56	62	2	120	
	NUMP500	88	134	3	225	
	NUMP1000	166	243	8	417	
	MPS250	41,73	1,39	1,3	20,21	
	MPS500	49,4	1,4	8,53	20,27	
	MPS1000	49,93	1,48	18,12	21,09	
	DP250	2,31	2,56	0,08		
	DP500	1,93	2,94	0,07		
	DP1000	1,89	2,76	0,09		
	PSSD250	171,73	1,19	0,26	119,03	
	PSSD500	263,47	1,3	6,5	166,42	
	PSSD1000	375,55	1,61	27,7	238,15	
	Métricas de Diversidad	MNN250	82,47	544,04	203,65	32,3
		MNN500	87,36	251,1	1381,47	20,21
		MNN1000	86,64	214,96	2005,33	19,82
SDI250		0	0	0	0,16	
SDI500		0	0	0	0,21	
SDI1000		0	0	0	0,25	
Área	CA250	2336,95	86,05	2,59	2425,59	
	CA500	4347,4	187,05	25,58	4560,03	
	CA1000	8289,14	360,42	144,98	8794,54	

El Mps presentó los valores medios más altos para la clase de bosque con 41.73, 49.4 y 49.93 ha, seguido de plantaciones forestales con 1.3, 8.53 y 18.12 ha mientras que los matorrales arbolados presentaron valores muy bajos que no excedieron un área de 2 ha en ninguno de los casos, acorde con lo anterior se interpreta que la clase de matorrales arbolados es la que presenta mayor fragmentación, porque posee un gran número de parches de tamaños pequeños.

La DP se expresó en número de parches por cada 100 ha, para esta categoría el ancho de 250 m reportó un valor máximo de 2.56 para los matorrales arbolados, seguido de bosques con 2.31 y finalmente las plantaciones forestales con un 0.08. En general los matorrales arbolados es la cobertura natural que presenta mayor número de parches en todos los anchos evaluados y la plantación forestal continua como la clase con menores apariciones en el área de estudio. La cobertura de bosque se mantuvo como la clase intermedia en cuanto a cantidad de parches por unidad de área evaluada.

El PSDD arrojó la variación más alta para los bosques en los 3 anchos, ya que el tamaño y forma de los parches que conforman esta cobertura son de dimensiones menos constantes alejándose del valor de la media, por esta razón la desviación estándar aumenta considerablemente.

4.3.2. Métricas de Diversidad

Los resultados reportaron que el mejor MNN lo obtuvo la categoría de bosque con promedio de los tres anchos (250, 500 y 1000) de 85,49 m, la clase de matorral arbolado se alcanzó sus mejores valores para el ancho de 1000 m con un 214,96 m mientras que el ancho de 250 m presentó el peor valor para esta clase con un 544,04 m mostrando que los parches se encuentran muy distantes. Las plantaciones forestales fue la clase que reportó índices de distancia entre parches más altos, en orden descendente de los anchos evaluados mostró distancias entre parches de 2005.33 m, 1381.47 m, y 203.65 m.

En cuanto a la diversidad de parches en el paisaje el mejor SDI fue de 0,25 para el ancho de 1000 m, seguido de 0,21 en el ancho de 500 m y un 0,16

para el de 250 m. Se entiende que la diversidad de paisaje más alta la reporte el ancho de mayor área ya que se encontraran mayor número parches de las diferentes clases de cobertura natural, estudios realizados por el ICE (2014) dentro del SCBD en seis sitios de muestreo arrojaron un promedio de 2.77 para el índice de diversidad de Shannon-Weiner este nos indica una alta diversidad de especies de fauna entre mamíferos, aves, reptiles y anfibios, así se demuestra que el sitio es altamente diverso en cuanto a especies y paisaje.

El comportamiento del paisaje mostró una dominancia del bosque con un 95,31 %, para un 3,92 % de matorral arbolado y un 0,78 % de plantaciones forestales. Cuando se relacionan todos los índices de fragmentación, se entiende que los que dan una idea más real del comportamiento del paisaje son el número de parches, la distancia media al vecino más cercano, el tamaño medio de los mismos, el área total evaluada y la diversidad de la misma.

En todos los anchos evaluados las plantaciones forestales fueron las que presentaron menor número de parches, menor área total, mayor distancia de parches con excepción del ancho de 1000 metros donde la mayor distancia la presentaron los matorrales arbolados. El bosque fue la clase que domino en todos los índices, exceptuando en el número de parches donde el mayor valor lo presentó el matorral arbolado, pero al analizar el tamaño medio de los mismos se determinó que los matorrales poseen gran número de parches de tamaños más pequeños siendo la clase más fragmentada del estudio.

El análisis de los anchos relacionado con el área de estudio, mostró que el ancho de mejores condiciones es el de 500 m ya que si se compara con el de 1000 m, este posee casi el doble del área, la diferencia en la diversidad es de

0.04, la diferencia entre el tamaño medio de los parches es de 0.82, la diferencia entre las medias de vecino más cercano es de 0,39. Por lo tanto al presentar diferencias tan bajas en cuanto a fragmentación y tener un área reducida a la mitad se determina que el ancho de mejores condiciones para la conectividad es el de 500 metros a cada lado de la ruta principal de conectividad (ver Figura 6). Para el mismo se requiere menor inversión en los pagos de servicios ambientales implementados por el ICE, actualmente la inversión presupuestada es de \$ 1 119 275.98 para un total de 26 solicitudes de PSA, tanto fincas para conservación de bosque que suman 694.4 ha y arboles sembrados para un total de 3300, todos los fincas inscritas en el proyecto estarán por un periodo de 11 años (ICE, 2013).

Ancho de las Rutas Principales de Conectividad en el Subcorredor Biológico Barbilla-Destierro

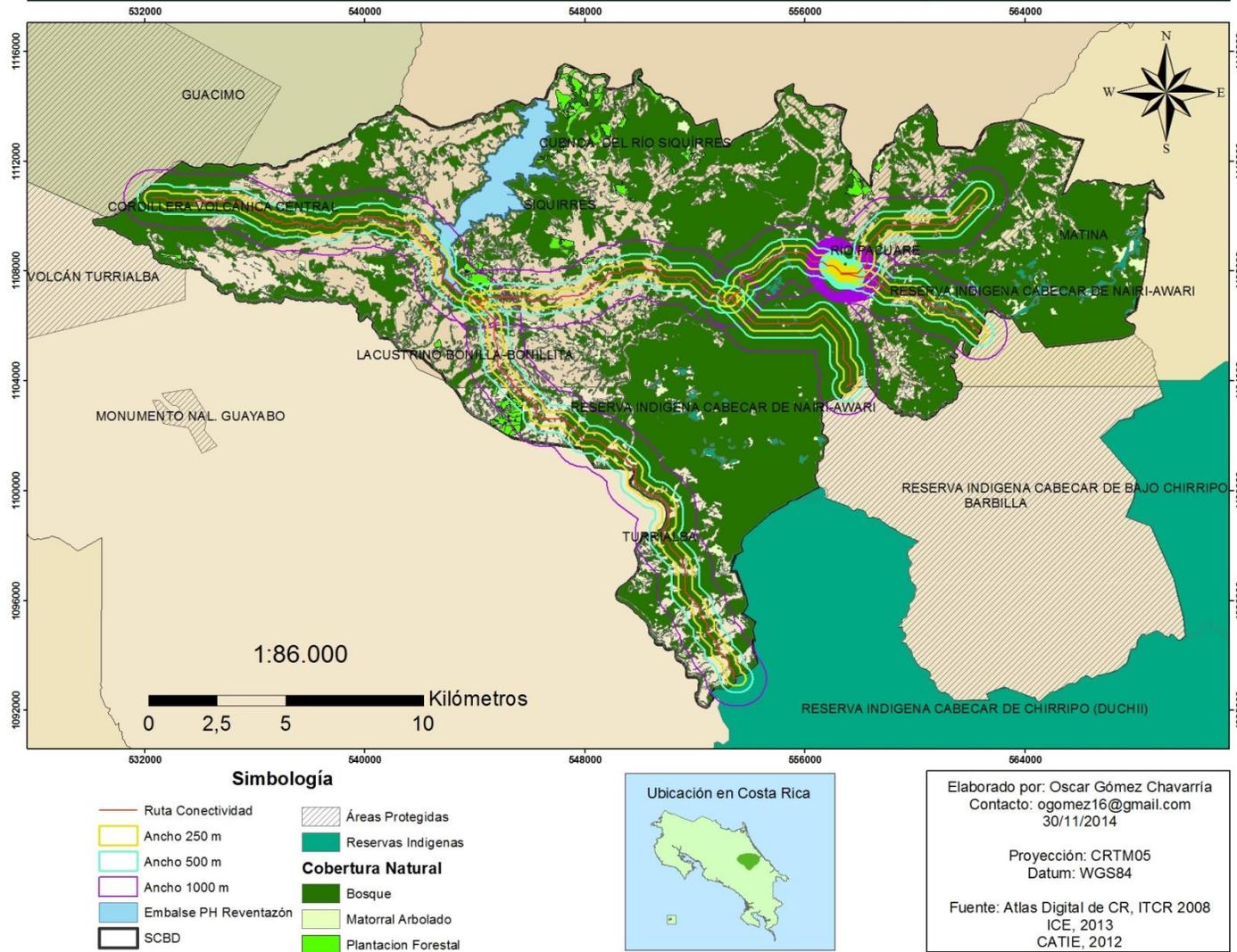


Figura 5. . Mapa de anchos evaluados en la ruta principal del Subcorredor Biológico Barbilla Destierro.

4.4. Propuesta de la red de conectividad

Se propone una red de conectividad la cual nos da una representación de todas las posibles rutas dentro del SCBD, son opciones a tomar en cuenta, en cuanto a pasos prioritarios para fortalecer los PSA en la zona, buena distribución de los incentivos en los sitios donde se presentan problemas de fragmentación del paisaje.

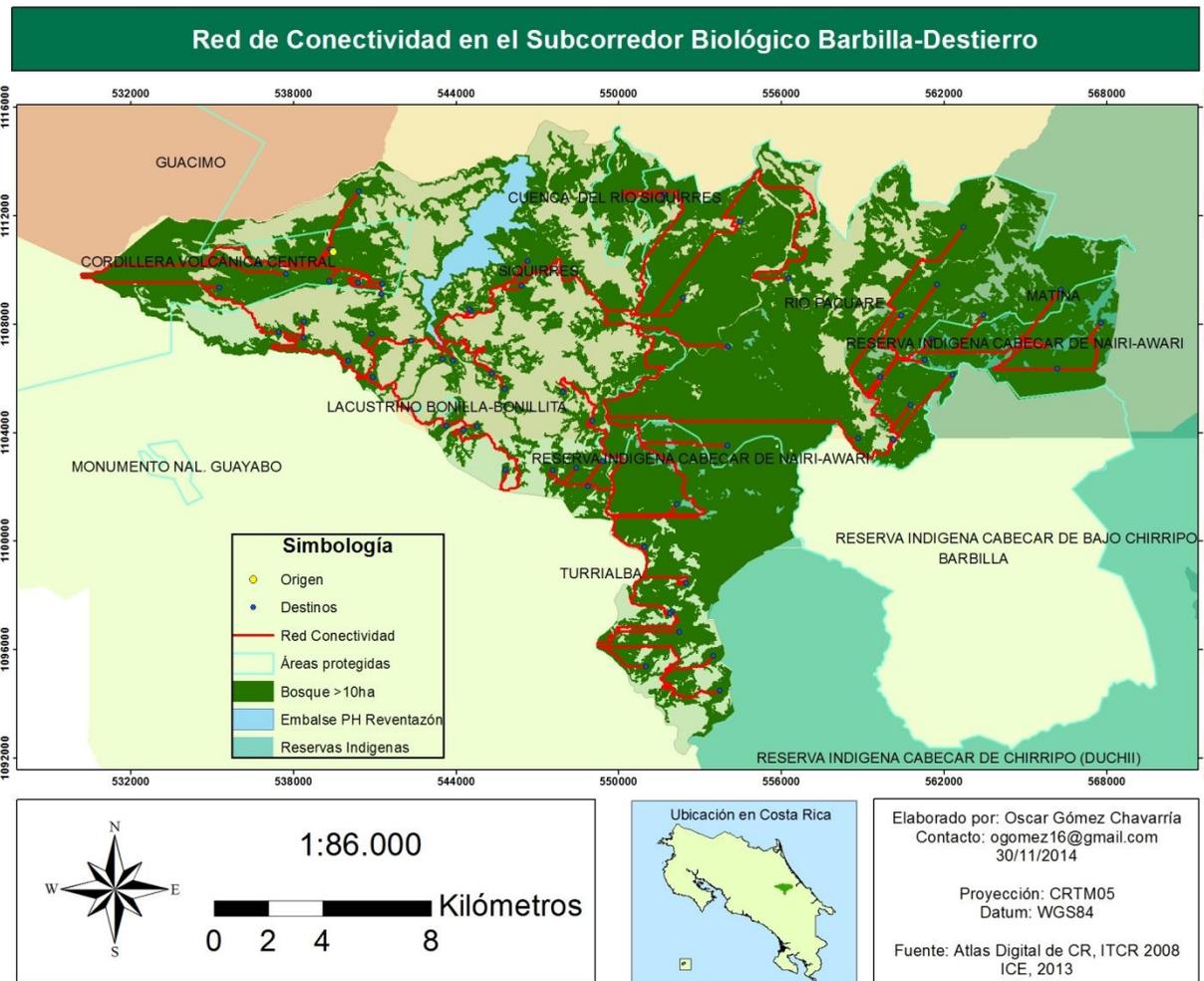


Figura 8. Mapa de propuesta red de conectividad en el Subcorredor Biológico Barbilla Destierro.

4. CONCLUSIONES

- Se evidenció que el ancho de 500 m a cada lado de la ruta de conectividad es el óptimo ya que fue el que presentó los mejores índices de fragmentación en función de su área.
- Se corroboró que la ruta principal de conectividad identificada corresponde con la obtenida como de menor costo, zona donde se está ubicando los PSA de pago doble.
- Se determinó que la clase de cobertura natural de bosque mostró los mejores valores en cuanto a distribución y tamaño parches.
- Se comprobó que las rutas de costo obtenidas son funcionales y contribuyen en la conectividad del SCBD.
- Se identificó que al utilizar un ancho de 500 m se protege la ruta de conectividad con una inversión eficiente de los recursos para PSA.

5. RECOMENDACIONES

- Incentivar a dueños de fincas a formar parte del proyecto de PSA de pago doble del ICE, en una franja de 500 metros de las rutas de conectividad principales del SCBD. Así mismo reforzar los programas de reforestación ya que las plantaciones forestales representa la cobertura natural con menor número de parches en el área de estudio y menor densidad de los mismos por unidad de área (cada 100 ha) como medida para mejorar la permeabilidad del paisaje.
- Impulsar a los pobladores a conservar áreas degradadas o en regeneración mismas conocidos como tacotales o bosques secundarios en regeneración, fue la cobertura que presento mayor fragmentación, con gran cantidad de parches de tamaños pequeños. Son sitios de gran interés para las especies en cuanto a disponibilidad de recursos y hábitats de refugio.
- Para estudios posteriores se recomienda realizar una revaloración físico ambiental para la modelación de rutas de costo, ya que existe la posibilidad que no se tomaran en cuenta variables importantes para el paso de la fauna, como el relieve y la pendiente.

6. REFERENCIAS

- Bolaños, R; Watson, V. (1993). Mapa Ecológico de Costa Rica, según el sistema de clasificación de Zonas de Vida del mundo de L.R Holdridge (Escala 1:200000). CCT, San José, Costa Rica.
- Bouroncle, C. (2007). Propuesta de una red de conectividad estructural ecológica en la cuenca del río Coapa, Chiapas, México. Informe Técnico.
- Bustamante, B; Grez, A. (1995). Consecuencias ecológicas de la fragmentación de los bosques nativos. *Ambiente y Desarrollo*. 11(2).
- Bustamante, R; Simonetti, J; Grez. (2006). Biodiversidad en Ambientes Fragmentados de Chile: Patrones y Procesos a Diferentes Escalas. Editorial Universitaria. Santiago, Chile ISBN: 956-11-1912-9 232 p., 10 capítulos. Formato: 17,4 x 24,6 cm Fecha de publicación: diciembre, 2006
- Bustamante, R; Simonetti, J; Grez, A; San Martin, J. (2004). Fragmentación y dinámica de regeneración del bosque Maulino: diagnóstico actual y perspectivas futuras. Recuperado de http://146.83.237.36/focus/people_focus4/pdf/Bustamante%26Grez_1995_Ambiente%26Desarrollo.pdf
- Calvo-Obando, AJ. (2009). Determinación de índices de fragmentación y modelamiento de la conectividad en los corredores biológicos de Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 345 p.
- ERDAS, 2010. Field Guide TM. (en línea). Atlanta, US. Consultado 24 Septiembre de 2014. Recuperado de:

- http://geospatial.intergraph.com/Libraries/Tech_Docs/ERDAS_Field_Guide.sflb.ashx
- Gavier, G; Bucher, E. (2004). Deforestación de las sierras chicas de Córdoba (Argentina) en el período 1970-1997. Recuperado de <http://www.anc-argentina.org.ar/descargas/publicaciones/miscelaneas/misc101.pdf>
- Gurrutxaga, M. (2004). Conectividad Ecológica del Territorio y Conservación de la Biodiversidad Nuevas Perspectivas en Ecología del Paisaje y Ordenación Territorial. Informe Técnico. Departamento de Agricultura y Pesca. Gobierno Vasco.
- Hudson, W. D., C. W. Ram. 1987. Correct formulation of the Kappa coefficient of agreement. *Photogramm. Eng. & Remote Sens.* 53 :42 1-422.
- Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). (2013). Plan Maestro para mitigar los efectos del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón sobre la Conectividad y Funcionalidad del Subcorredor Barbilla – Destierro.PDF
- Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). (2014). PH Reventazón. Informe Semestral SCBBD –II semestre. 2014. San José, Costa Rica. ICE.
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2014). Atlas climatológico
- Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR). (2008). Atlas digital de Costa Rica.
- Lillesand, T., Kiefer, R. 1994. Remote sensing and image interpretation. 3 ed. New York, US. John wiley & sons. 750 p.
- McGarigal, K; Marks, B. (1994). SPATIAL PATTERN ANALYSIS PROGRAM FOR QUANTIFYING LANDSCAPE STRUCTURE. FRAGSTATS.
- Motos, M. (2012). Análisis SIG de la dinámica de los usos del suelo y estructura del paisaje para una posible ampliación del Parque Natural Sierra María-Los Vélez. Universidad de Alicante. España

Programa de Regulación de Catastro y Registro. Misión CARTA 2005. Orto fotografías capturadas entre Marzo y Abril 2005 en RGB. Escala 1:5000

Ramos, Z. Sh. (2004). Estructura y composición de un paisaje boscoso fragmentado: herramienta para el diseño de estrategias de conservación de la biodiversidad. Tesis postgrado. CATIE.

Salom, R; Araya, D; Corrales, D; Carazo, J; Petrcca, L; Robinson, H; Wultsch, C; Caragiulo. A; Spínola, M; Aguilar, C; Urbina, E; Quigley, H. (2014). PROGRAMA DE MONITOREO DE MAMÍFEROS MEDIANOS Y GRANDES EN EL SUBCORREDOR BIOLÓGICO BARBILLA-DESTIERRO/PASO DEL JAGUAR. Estudios y apoyo a la Estrategia Ambiental y Social del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón. Informe #1.PDF

Sánchez, R; Rebollar, S. (1999). Deforestación en la Península de Yucatán, los retos que enfrentar. Madera y Bosques.5 (2). P 3. 3-17.Cuba. Recuperado de <http://site.ebrary.com/lib/itcr/Doc?id=10646434&ppg=3>.

Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). Corredor Biológico Barbilla Destierro. Recuperado de http://www.sinac.go.cr/corredoresbiologicos/documentacion/aclac/cb_barbilla.pdf

Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2007). GRUAS II: Propuesta de ordenamiento territorial para la conservación de la biodiversidad de Costa Rica. Volumen 1: Análisis de Vacíos en la Representatividad e Integridad de la Biodiversidad Terrestre. San José, Costa Rica. 100 p.

Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2011). Políticas para las Áreas Silvestres Protegidas (ASP). Recuperado de <http://www.reservasprivadascr.org/documentos/23.pdf>.

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (IUCN). UICN. (2012). Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1. Segunda edición. Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido: UICN. vi + 34pp.

7. ANEXOS

7.1. Anexo 1. Ecuación para el cálculo del estadístico Kappa.

$$K_{hat} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ij} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum (x_{i+} * x_{+i})}$$

Donde:

r es el número de filas en la matriz.

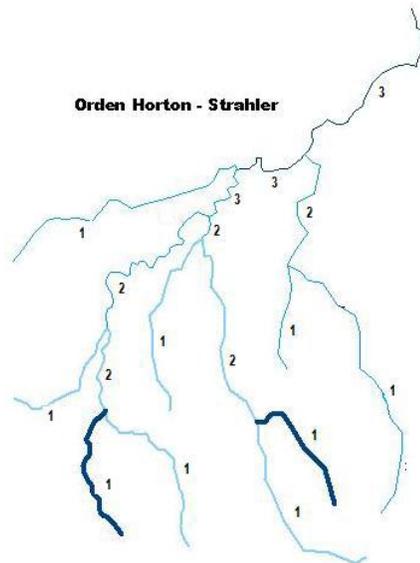
x_{ii} es la suma de observaciones en la fila i, y columna i (los valores en la diagonal mayor).

x_{i+} es el total de observaciones en la fila i (el total en la fila i a la derecha de la matriz).

x_{+i} es el total de observaciones en la columna i (total en la columna i debajo de la matriz).

N es número total de observaciones o puntos de control usados en la validación.

7.2. **Anexo 2.** Clasificación de ríos según Horton (1945) modificado por Strahler (1957).



De acuerdo con el orden Horton-Strahler se clasifican los ríos en una jerarquía que se define como: ríos de primer orden son los que no tienen afluentes; los de segundo orden se forman al unirse los de primer orden; los de tercer orden se forman al unirse los de segundo y así sucesivamente.

7.3. **Anexo 3.** Fórmula para la determinación del valor de la resistencia a la conectividad extendida por los ríos.

$$R = e^{a + b \left(\frac{1}{\mu}\right)}$$

Donde:

R= resistencia.

a = valor máximo a partir del cual el cambio en resistencia deja de ser significativo

a = 5,16

b = tasa de cambio.

b= -5

μ = orden Horton-Strahler.

7.4. Anexo 4. Fórmula para la determinación del valor de la resistencia a la conectividad extendida para la fragmentación.

$$R = e^{a+b(\frac{1}{d})}$$

Donde:

R= resistencia.

a = valor máximo a partir del cual el cambio en resistencia deja de ser significativo

a = 4,61

b = tasa de cambio.

b= -1,90

d = distancia entre los fragmentos (calculado por la función Euclidean Distance).

Anexo 5. Lista de participantes en la encuesta de priorización de capas de información para elaborar el mapa de conectividad de los corredores biológicos de Costa Rica
Realizado en el SINAC, San José, Costa Rica; el 03/07/2009.

NOMBRE	INSTITUCIÓN
Canet Desanti Lindsay	CATIE
Coto Hidalgo Mario	SINAC
Finegan Bryan	CATIE
Herrera Bernal	The Nature Conservancy (TNC)
Induni Gustavo	SINAC-MINAET
Ortiz Malavasi Edgar	Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR)

Fuente: Calvo (2009)