



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA EN  
INGENIERÍA FORESTAL

MODELO PARA EL ESTABLECIMIENTO DE CORREDORES BIOLÓGICOS  
EN ÁREAS AMBIENTALMENTE FRÁGILES EN EL CANTÓN CARRILLO,  
GUANACASTE, COSTA RICA

JOSSIE ESTEBAN HERNÁNDEZ MORAGA

CARTAGO, COSTA RICA

2015

## RESUMEN

Los ecosistemas naturales son modificados por procesos de fragmentación debido a diversas actividades humanas, tales como: remoción de cobertura boscosa, desarrollo de infraestructura, ganadería extensiva y demás. Para mantener la dinámica de los ecosistemas es indispensable la conectividad del paisaje, lo que contribuye al aumento de la biodiversidad y disminuye los fragmentos aislados de bosque. Es por esto que, resulta importante incentivar los corredores biológicos que permiten restablecer y mantener la conectividad del paisaje, contribuyen a la persistencia de poblaciones de fauna silvestre y fortalecen las áreas claves para el mantenimiento de los ecosistemas. En este estudio, se propone un modelo de restauración para establecer corredores biológicos mediante conectividad dentro del cantón Carrillo, Guanacaste, Costa Rica. Con el fin de determinar la fragmentación y conectividad del cantón, se validó con datos de campo el mapa de Tipos de Bosque de Costa Rica 2012, comprobando su confiabilidad con un 93% exactitud, para las categorías de bosque y no bosque. Además, se determinó que el cantón se encuentra altamente fragmentado (5%), según los verificadores de fragmentación. Se seleccionó al mono congo (*Alouatta palliata*) como especie indicadora de conectividad por su tolerancia a la pérdida y destrucción del hábitat, su plasticidad de dieta y su persistencia en fragmentos de bosques pequeños. Se analizó la conectividad para crear la capa de resistencia del cantón, según cinco variables físico-ambientales, y se creó dos posibles rutas de costo-distancia garantizando que dichas rutas fuesen funcionales, favoreciesen la conectividad y la movilidad del mono congo. Finalmente, se estableció que el ancho de 100 metros a partir de las rutas establecidas, es el óptimo para restaurar las áreas frágiles mediante reforestación y aumentar así la biodiversidad del cantón como atractivo ambiental y turístico.

**Palabras clave:** Mapa Tipos de Bosque de Costa Rica 2012, fragmentación, conectividad, resistencia, restauración, corredores biológicos, mono congo.

## **ABSTRACT**

Fragmentation processes, modify natural ecosystems due to many human activities, such as forest foliage removal, development of infrastructure, extensive ranching and more. To maintain the dynamics of such ecosystems, it is extremely indispensable to take into account the landscape connectivity, which contributes with the growth of biodiversity and diminishes the isolated fragments of forest. For this reason, it turns crucial to incentivize on the biological corridors that allow reestablishing and preserving that connectivity, as they contribute with the wild fauna's population persistence and reinforce the key areas for the preservation of the ecosystems. In this investigation, a model for the restoration of biological corridors through connectivity inside of the town of Carrillo, Guanacaste, Costa Rica is proposed. With the purpose of determining the fragmentation and connectivity of the town, the map of Types of Forests of Costa Rica 2012 was validated with field data, proving its reliability with a 93% of accuracy, for the forest and non-forest categories. In addition, it was determined that the town is highly fragmented; with a 5% level of fragmentation. The howler monkeys (*Alouatta palliata*) were selected as the connecting indicator species for their tolerance towards the loss and destruction of the habitat, their diet's elasticity and their persistence in small forests fragments. The connectivity to create the resistance layer in the town was analyzed with five physical-environmental variables, and two possible short-distance routes were created to guarantee that such routes would be completely functional, and that they would facilitate the connectivity and mobility of the howler monkey. Finally, it was established that the width of 100 meters from the selected routes, is the best to restore the fragile areas through reforestation and in this way, increase the biodiversity of the town as an environmental and touristic attraction.

**Key Words:** Type of Forests of Costa Rica 2012 Map, fragmentation, connectivity, resistance, restoration, biological corridors, howler monkey.

## ACREDITACIÓN

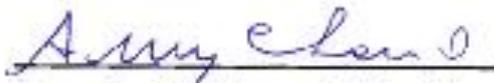
Esta tesis fue aceptada por el Tribunal Evaluador de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica y aprobada por el mismo como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura

### MODELO PARA EL ESTABLECIMIENTO DE CORREDORES BIOLÓGICOS EN ÁREAS AMBIENTALMENTE FRÁGILES EN EL CANTÓN CARRILLO, GUANACASTE, COSTA RICA

Miembros del Tribunal Evaluador



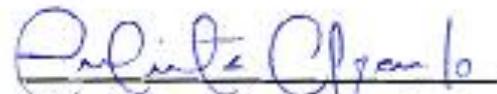
Edgar Ortiz Malavassi, Ph.D  
Director de Tesis



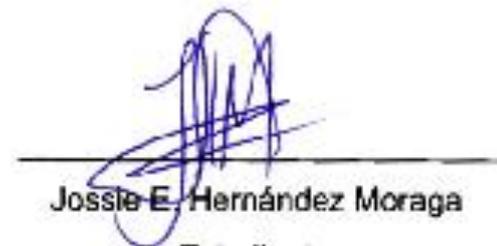
Ana Cecilia Chaves Quirós, Lic  
Escuela de Ingeniería Forestal



Henry Abarca Morales, M.Sc  
Municipalidad de Carrillo



Ana Julieta Calvo Obando, Lic  
Escuela de Ingeniería Forestal



Jossie E. Hernández Moraga  
Estudiante

## DEDICATORIA

*“Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente.  
No temas, ni desmayes; porque yo, el Señor Tu Dios,  
estaré contigo donde quiera que vayas”*

Josué 1:9

A Dios y la Virgen por brindarme las destrezas para salir adelante en momentos buenos y no tan buenos; a mis amados padres por su valioso apoyo incondicional y sus pizcas de sabiduría por mis años de carrera; padres ejemplares.

A mis admirados hermanos Jordie y Alexia, quienes, por alguna u otra razón, han estado en mi proceso de vida, los amo sobre todas las cosas.

A mí ejemplar prima Maureen, por su carisma, apoyo incondicional y consejos en todos mis procesos personales como académicos, la quiero y admiro con todo mi corazón.

## AGRADECIMIENTOS

Dios, la Virgen, mis padres y familiares

A Edgar Ortiz mi tutor, le agradezco profundamente por su tiempo, atención y apoyo incondicional en este proceso tan importante de mi vida.

A mis lectores: Ana Cecilia Cháves, Ana Julieta Calvo y Henry Abarca, por sus conocimientos y aportes brindados.

Al Programa de Investigaciones Aerotransportadas y Sensores Remotos del Centro Nacional de Alta Tecnología, al Bosque Modelo Chorotega y al Refugio Nacional de Vida Silvestre Hacienda El Viejo por su aporte financiero para que este proyecto fuese un éxito; y a la Municipalidad de Carrillo por su apoyo y confianza en mi persona.

A Catalina Esquivel por compartir mis años de carrera, apoyarme, convivir momentos buenos y no tan buenos, además de ser esa mejor amiga incondicional; A Sofía Meza por su apoyo, cariño, momentos de ocio, y locuras al máximo. Las quiero, chicas.

A Andrea Méndez, Gabriel Rodríguez y Esteban Chacón, por ser esos amigos que se convierten en familia, estar ahí apoyándome incondicionalmente, por esos grandes momentos de risa y ocio, por los consejos invaluable y, principalmente, por esas anécdotas que nunca olvidaré. Los quiero, chicos.

A mis compañeros Dorian Leandro, Ana Grethel Vargas, Juan Carlos Ortega, Giannina Salazar y Ana María Calderón quienes se convirtieron en una segunda familia por más de 3 años, además por siempre mostrarme ese valor de compañerismo, responsabilidad y apoyo memorable.

A Alberto Varela, Diego Quesada, Daniel Alan y Heiner Guillén, por sus chistes, locuras, consejos y momentos compartidos, son increíbles chicos.

A Claudia Madrizova por su gran apoyo y carisma invaluable; a Heileen Aguilar por sus consejos, paciencia y contribuciones en este proyecto; a Violeta Vargas por ser la secretaria más bella, atenta y especial, siempre seré ese mocoso.

A Marito, German y Charlie, por sus chistes y rancheras, además por ser los choferes estrella de todas las giras de la carrera; y al resto de los compas de forestal que han compartido conmigo en este recorrido que fue el TEC, que Dios los bendiga y éxitos en todo.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	ii
ABSTRACT.....	iii
ACREDITACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
INDICE DE CUADROS.....	viii
INDICE DE FIGURAS.....	ix
INDICE DE ANEXO .....	x
INTRODUCCIÓN .....	1
MATERIALES Y MÉTODOS .....	4
1.    Validación Mapa de Cobertura 2012 .....	6
1.1    Análisis de datos - Validación.....	7
2.    Parámetros para evaluar la fragmentación y conectividad.....	9
2.1    Conectividad estructural .....	11
2.2    Conectividad Funcional.....	11
3.    Modelo de restauración en áreas ambientalmente frágiles .....	17
3.1    Aspecto socio-cultural.....	17
3.2    Aspecto Silvicultural.....	18
RESULTADOS.....	19
1.    Validación de datos de campo .....	19
2.    Fragmentación y Conectividad .....	21
2.1    Fragmentación.....	21
2.2    Conectividad .....	22
2.2.1    Conectividad Estructural .....	22
2.2.2    Conectividad Funcional .....	22
3.    Modelo de restauración .....	24
3.1    Aspecto sociocultural .....	24
3.2    Aspecto silvicultural.....	25
3.3    Modelo de restauración .....	26
DISCUSIÓN .....	30
1.    Validación de la clasificación.....	30
2.    Fragmentación.....	31
3.    Conectividad.....	32
3.1    Análisis de Conectividad Estructural .....	32
3.2    Análisis de Conectividad Funcional .....	33
4.    Restauración.....	34
CONCLUSIONES .....	36
RECOMENDACIONES.....	37
BIBLIOGRAFÍA .....	38
ANEXOS .....	45

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Sistema de clasificación según mapa Tipos de Bosque de Costa Rica 2012. ....	6
<b>Cuadro 2.</b> Verificadores de fragmentación que se analizaron en el cantón Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 2014. ....	10
<b>Cuadro 3.</b> Valores para índice de fragmentación .....	10
<b>Cuadro 4.</b> Verificadores de conectividad que se analizaron en el cantón Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 2014.....	11
<b>Cuadro 5.</b> Resistencia a la conectividad ejercida por los ríos, según el orden de Horton-Strahler elaborado a partir de Calvo (2009). ....	13
<b>Cuadro 6.</b> Resistencia a la conectividad ejercida al tipo de poblado modificado de Calvo (2009).....	14
<b>Cuadro 7.</b> Resistencia a la conectividad ejercida por las carreteras del cantón Carrillo. ....	14
<b>Cuadro 8.</b> Reclasificación y resistencia para la conectividad con respecto a la cobertura de la tierra modificado de Calvo (2009).....	15
<b>Cuadro 9.</b> Resistencia para la conectividad con respecto a las diferentes distancias entre fragmentos de cobertura natural modificado de Calvo (2009).16	
<b>Cuadro 10.</b> Peso de las variables físico-ambientales utilizadas para la capa de resistencia basado en Calvo (2009). ....	17
<b>Cuadro 11.</b> Matriz de error para la categoría de Bosque y No Bosque, Carrillo, Guanacaste. ....	19
<b>Cuadro 12.</b> Exactitud de usuario y del productor, para categoría Bosque y No Bosque del cantón Carrillo, Guanacaste. ....	19
<b>Cuadro 13.</b> Valores de las métricas de paisaje para la categoría de bosque y no bosque en el cantón Carrillo, Guanacaste, Costa Rica. ....	21
<b>Cuadro 14.</b> Grado de fragmentación para la categoría bosque y no bosque en el cantón Carrillo, Guanacaste, Costa Rica .....	22
<b>Cuadro 15.</b> Valores de las métricas de paisaje para la categoría de bosque y no bosque en Carrillo, Guanacaste, Costa Rica.....	22
<b>Cuadro 16.</b> Valores de área total (en hectáreas) de no bosque en dos anchos de ruta en Carrillo, Guanacaste, Costa Rica. ....	26

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación geográfica del Corredor Biológico Chorotega en Carrillo, Guanacaste, Costa Rica.....	4
<b>Figura 2.</b> Proceso de restauración de áreas ambientalmente frágiles.....	18
<b>Figura 3.</b> Categoría de bosque y no bosque en el cantón Carrillo, Guanacaste, Costa Rica.....	20
<b>Figura 4.</b> Resistencia a la conectividad según valores físico-ambientales en el cantón Carrillo, Guanacaste. ....	23
<b>Figura 5.</b> Rutas de menor costo para establecer conectividad en el cantón Carrillo, Guanacaste.....	24
<b>Figura 6.</b> Ancho de las rutas principales de conectividad en el cantón Carrillo, Guanacaste. ....	25
<b>Figura 7.</b> Presencia de <i>A. palliata</i> en plantación de melina .....	30

## INDICE DE ANEXO

**Anexo 1.** Propuesta de taller pedagógico sobre restauración en áreas ambientalmente frágiles en el cantón Carrillo, Guanacaste, Costa Rica. .... 45

**Anexo 2.** Fórmula para la determinación del valor de la resistencia a la conectividad extendida por los ríos. .... 46

**Anexo 3.** Fórmula para la determinación del valor de la resistencia a la conectividad para la fragmentación. .... 46

## **INTRODUCCIÓN**

Las actividades realizadas por el hombre, tales como remoción de cobertura boscosa, desarrollo de infraestructura, ganadería extensiva, entre otros, modifican, destruyen o simplifican los ecosistemas naturales del planeta. Las áreas de hábitat natural se dividen y disminuyen, como consecuencia el paisaje se transforma en un mosaico compuesto por asentamientos humanos, terrenos agrícolas y fragmentos aislados de bosques remanentes (Bennett, 1998). Este proceso se conoce como fragmentación y se ve influenciado por factores sociales, políticos y económicos, ligados a las condiciones agroecológicas y al grado de accesibilidad a estos hábitats (Finegan y Bouroncle, 2007). Así, el humano puede llegar a ser un indicador negativo de los procesos de fragmentación por el acelerado uso del suelo, debido a que debilita los ecosistemas.

La disminución del área de hábitats naturales disponible para las poblaciones silvestres provoca el aislamiento, reduce el tamaño poblacional y aumenta la tasa de extinciones locales (Beier y Noss, 1998; Bennett, 1998), ya que áreas pequeñas de hábitat soportan menos especies (Shaffer, 1981; Primack et al, 2001). El aislamiento puede inhibir el intercambio de individuos entre poblaciones de los diferentes fragmentos (Hobbs, 1993; Bennett, 1998) lo que dificulta la migración y diseminación de individuos en el paisaje (Beier y Noss, 1998; Bennett, 1998). Esta capacidad de movilidad denominada conectividad resulta de gran importancia para mantener la dinámica de los ecosistemas.

La conectividad es un elemento dependiente tanto de aspectos físicos o estructurales del paisaje como de los funcionales, relacionados con las características del flujo ecológico y del propio comportamiento y movilidad de las especies (Taylor et al, 1993). Las estrategias para mitigar los efectos de la fragmentación sobre los ecosistemas consisten en mantener o restablecer los vínculos en el paisaje (Noss, 1991). La conectividad se describe, como “los arreglos espaciales y la calidad de elementos en el paisaje que afectan el desplazamiento de organismos entre parcelas de hábitats” (Benett, 2004).

Una baja conectividad entre fragmentos de hábitat natural genera endogamia entre las poblaciones silvestres, disminuye la tasa de natalidad e incrementa la extinción (Shaffer, 1981; Hobbs, 1993; Bennett, 1998; Primack et al, 2001). La conectividad llega a convertirse en un sistema estratégico para disminuir los parches o islas fragmentadas, porque contribuye al aumento de la biodiversidad y al enlace del paisaje.

Los corredores biológicos (CB) son estrategias de conservación de uso común en América Latina y otras partes del mundo (Bennet y Mulongoy, 2006). Estos suelen desarrollarse en paisajes fragmentados que son vulnerables al impacto humano y al cambio climático (Bennett, 1998; Parrish et al, 2003). El objetivo fundamental es restablecer y mantener la conectividad en el paisaje, a través de acciones que, a la vez, buscan mejorar las características del paisaje, para contribuir al incremento de las probabilidades de persistencia de muchas poblaciones de especies silvestres (Bennett, 1998; Herrera y Finegan, 2008), así como la continuidad de los procesos ecológicos clave en la provisión de servicios ecosistémicos esenciales para la vida en el planeta (Canet et al, 2011).

Los corredores biológicos integran el desarrollo sostenible con la conservación, se proponen fortalecer áreas claves para el mantenimiento de la biodiversidad, tales como las áreas protegidas, implementan acciones que contribuyen a mitigar y disminuir las amenazas que sobre ellas se ciernen. Además, sugieren mejorar las condiciones de las zonas aledañas a estas áreas clave, mediante la incorporación de prácticas productivas amigables con el ambiente (Canet et al, 2011).

Por otra parte, el concepto de área ambientalmente frágil (AAF) se refiere a un espacio geográfico que, en función de las condiciones de geopotencial, capacidad de uso del suelo, ecosistemas que lo conforman y la particularidad sociocultural del sitio, presentan una capacidad de carga restringida y con algunas limitantes técnicas que deberán ser consideradas para su uso en actividades humanas. (Reglamento General sobre los procedimientos de evaluación de impacto ambiental (EIA), 2004)

## **Conservación del Mono Aullador**

El Mono Aullador (*Alouatta palliata* Grey, 1849), conocido en Costa Rica como “Congo”, pertenece al género *Alouatta* y es el grupo de primates neotropicales con la mayor distribución, la cual se extiende desde el estado de Veracruz en México hasta el norte de Argentina (Cortés et al, 2003; Baumgarten y Williamson, 2007). Forma grupos o tropas de 10 a 20 individuos, con un promedio de 14. También puede haber tropas de hasta 40 o de, solamente, cuatro. La cantidad de individuos en la tropa varía según la disponibilidad de alimento, la región y lo fragmentado del hábitat (CONABIO, 2011).

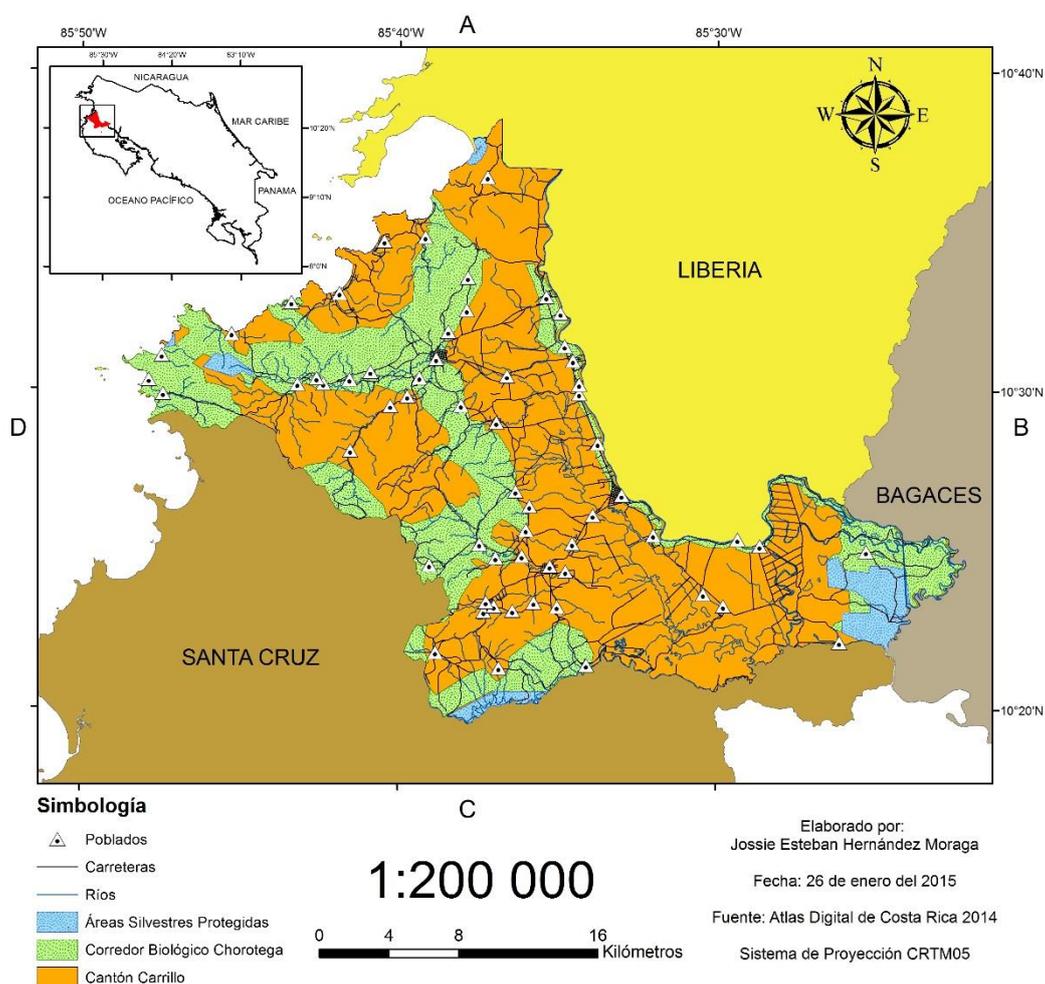
Estudios realizados en Costa Rica (uno de ellos es el realizado por Morera, en 1999) evidencian que el género *Alouatta* es uno de los primates neotropicales más tolerantes al efecto de la pérdida y destrucción del hábitat debido a la plasticidad de su dieta, principalmente folívora. Una de sus cualidades, de adaptación es su alimentación a partir de diferentes especies de plantas en distintos hábitats, pueden aumentar su consumo de hojas si no hay frutos disponibles, alimentarse de plantas exóticas y asociadas a crecimiento de vegetación secundaria, minimizar el gasto de energía ajustando sus actividades diarias y disminuir su área de actividad según las condiciones del medio (Cristóbal y Arroyo, 2007). Por lo anterior es que los aulladores pueden persistir en fragmentos de bosque pequeños, sin embargo, su viabilidad a largo plazo en estas condiciones aún es cuestionable (Rosales, 2008).

*A. palliata* parece evitar los bosques secundarios jóvenes y sabanas con árboles aislados cuando la calidad del hábitat que ocupan se los permite. Sin embargo, presentan una alta capacidad de colonizar ambientes alterados que presentan el grado de recuperación necesario para suplir sus necesidades (Morera, 1996).

El presente estudio tiene como objetivo proponer un modelo de restauración para el establecimiento de corredores biológicos mediante conectividad en el cantón Carrillo, Guanacaste, por medio del uso de las poblaciones de mono congo, como especie indicadora. (*Alouatta palliata*).

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Delimitación del área de estudio:** El estudio se realizó en el cantón de Carrillo, ubicado en los cuadrantes A (85,61W 10,64N), B (85,36 W 10,40N), C (85,63W 10,32N) y D (85,81W 10,51N), dentro del Área de Conservación Tempisque (Figura 1). El cantón abarca los distritos: Filadelfia, Palmira, Sardinal y Belén. Tiene un área de 557,54 km<sup>2</sup> y limita al norte con el cantón de Liberia, al este con los cantones de Liberia y Bagaces, al sur con el cantón de Santa Cruz, y al oeste con el Océano Pacífico (Ambroggio et al, 2009).



**Figura 1.** Ubicación geográfica del Corredor Biológico Chorotega en Carrillo, Guanacaste, Costa Rica

Dentro del cantón Carrillo se encuentra parte del corredor biológico Chorotega (Canet, 2007), además de las áreas silvestres protegidas: Reserva de Vida Silvestre Iguanita, Reserva de Vida Silvestre Hotel Riu, Humedal Río Cañas, Humedal Riberino Cipanci, Reserva de Vida Silvestre Hacienda El Viejo, Reserva de Vida Silvestre Costa Esmeralda y Parque Nacional Palo Verde (SINAC, 2014).

De acuerdo con el sistema de zonas de vida de Holdridge (Holdridge, 1967), en el sitio predominan tres zonas de vida: bosque húmedo premontano transición a Basal (BhP-B, biotemperatura anual de 18-24°C y precipitación anual de 2000-4000 mm), bosque seco tropical (Bs-T, biotemperatura anual de 24-30°C y precipitación anual de 1000-2000 mm) y bosque seco tropical transición a húmedo (BsT-H, biotemperatura anual de 24-30°C y precipitación anual de 1000-2000 mm) (Centro Científico Tropical, 1993).

La estación lluviosa comprende los meses de mayo a octubre y la estación seca comprende los meses de noviembre a abril. La temperatura promedio es de 31 grados centígrados, con la máxima de 36 grados centígrados, y la mínima de 25 grados centígrados (Comité Local de Emergencia de Carrillo et al, 1993).

Esta zona presenta una flora está caracterizada por la presencia de especies como Pochote (*Bombacopsis quinatum*), Guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), Surá (*Terminalia oblonga*), Guácimo (*Guazuma ulmifolia*) y Jícara (*Crucifera alata*); también se encuentran especies que están en peligro de extinción como el Ron ron (*Astronium graveolens*), Cocobolo (*Dalbergia retusa*) y Nispero (*Manilkara chicle*). Entre las especies de fauna presente en la zona destacan el mono congo (*Alouatta palliata*), armadillo (*Dasypus novemcinctus*), venado (*Odocoileus virginianus*) y pizote (*Nasua narica*) (Herrera, 2007).

Además, al extremo oeste del cantón se ha desarrollado una formación vegetal de manglar, suelos con limitaciones de drenaje y alto nivel de salinidad, las especies más comunes son el Mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y el Mangle Mariquita (*Conocarpus erectus*).

## 1. Validación Mapa de Cobertura 2012

La validación para esta investigación se basó en un muestreo aleatorio de campo; se tomaron 166 puntos de control por todas las clases de cobertura, donde se utilizó un receptor del Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés), marca *Garmin*, modelo Oregon, configurado en CRTM05 (Cuadro 1).

Se tomó una distancia estimada visual en metros, desde la orilla de la calle al centro de la cobertura; el azimut fue con una brújula marca Suunto, hacia el centro de la cobertura, entre 0 y 360 grados. También se estimó la densidad de la cobertura (ejemplo: bosque muy denso de 95% a 100%, potrero 0%), el registro de la información se llevó en un formulario que incluyó las variables anteriores, observaciones y número de foto.

**Cuadro 1.** Sistema de clasificación según mapa Tipos de Bosque de Costa Rica 2012.

Clase	Subclase	Descripción
Pastos	Pasto arbolado	
Manglar		El manglar es una formación leñosa, densa, frecuentemente arbustiva o arborescente de 2 a 25 m de altura compuesta de una o de unas cuantas especies de fanerógamas.
Plantación forestal	(Ej. Teca, melina, pochote)	Son superficies arboladas que se han obtenido de forma artificial, mediante plantación o siembra. Los árboles pertenecen en general a una misma especie, tienen los mismos años de vida y presentan una distribución espacial homogénea.
Bosque maduro		Es un bosque producto de un proceso de sucesión que se ha mantenido interrumpido durante 75-100 o más años. Están compuestos por especies nativas de árboles. No presentan huellas evidentes de la actividad del hombre y sus procesos ecológicos no se han visto alterados de una forma apreciable.

Bosque secundario		Tierra con vegetación leñosa de carácter sucesional secundaria que se desarrolló una vez que la vegetación original ha sido eliminada por actividades humanas y/o fenómenos naturales.
No forestal	Zona urbana, cultivo, agua, suelo desnudo	

**Fuente:** Ortiz, 2013

### 1.1 Análisis de datos - Validación

Se generó una matriz de error, también llamada: tabla de contingencia o matriz de confusión, para comparar la clasificación del mapa de Tipos de Bosque de Costa Rica 2012 (SINAC, 2014) contra validación de datos de campo 2014, con datos numéricos y estadísticos de exactitud. Los datos de campo se procesaron con el programa ArcGis 10.1 en donde a cada punto se le realizó un buffer de 15 metros, dado que el GPS tiene un sesgo  $\pm 10$  metros. Los 5 metros restantes es un dato constante que se tomó como incertidumbre con respecto al valor proyectado de la distancia de la orilla de la calle a la cobertura identificada.

La tabla de contingencia es una matriz cuadrada, en sus columnas se colocaron los datos de referencia, estos son verdaderos, de cobertura evaluados en el campo. En las filas se colocaron los datos de la clasificación realizada con el mapa de SIREFOR 2012. La diagonal mayor muestra el número de puntos de muestreo correctamente clasificados, los datos ubicados arriba de la diagonal corresponden a los errores de comisión, áreas que no deberían haber sido colocados en una determinada categoría, pero estaban. Los datos por debajo de la diagonal corresponden a 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 con 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 de los datos en la diagonal mayor de la matriz, dividido entre el total de puntos clasificados (Lillesand y Kiefer, 1994).

Para el análisis de la probabilidad de que los resultados de una clasificación sean producto del azar, se utiliza el cálculo del estadístico Kappa ( $K_{hat}$ ) (Hudson y Ramn, 1987), el cual mide la diferencia entre el acuerdo mapa-realidad observado, y el que podría ser producto simplemente del azar. El coeficiente  $K_{hat}$  se calcula con la fórmula:

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

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.

Un valor de  $K_{hat} = 1$  indica un total acuerdo entre la clasificación hecha en el mapa y la realidad, mientras que un valor de 0 sugiere que los acuerdos en la clasificación mostrados en la diagonal mayor son producto del azar.

Con base en los datos de campo y la validación de la clasificación se procedió a realizar un nuevo mapa de cobertura con dos categorías: bosque y no bosque para el 2014, en la categoría bosque se incluyeron: bosque maduro, bosque secundario, manglar y plantaciones forestales; mientras en la de no bosque se incluyeron no forestal y pastos.

## **2. Parámetros para evaluar la fragmentación y conectividad**

### **Tipos de cobertura**

La información de cobertura de la tierra del mapa de Tipos de Bosque de Costa Rica 2012 (Ortiz, 2013) fue clasificada de acuerdo a once categorías: bosque maduro (1), bosque deciduo (2), bosque secundario (3), manglar (4), plantación forestal (6), bosque palmas (7), pastos (8), páramo (9), no forestal (10), nubes(11) y sombras de nubes (12).

Para el presente trabajo, se tomaron en cuenta las coberturas: bosque maduro, bosque secundario, manglar, pastos, plantación forestal y no forestal, según el mapa de cobertura 2014 generado en la etapa anterior. La categoría de bosque deciduo forma parte de las clases dentro del área de estudio pero se categorizó en bosque secundario debido a que la toma de datos se hizo en periodo lluvioso y los árboles ya tenían sus hojas. Las clases restantes se excluyeron debido a que no están dentro del cantón.

### **Verificadores**

Las métricas o índices de paisaje son términos cuantitativos para representar la estructura de un espacio, y se miden a base de datos de un mapa. Estos resumen la configuración del mosaico con respecto a los tipos de cobertura, formas de fragmentos, bordes de fragmentos y disposición de los mismos en un determinado espacio (Silva, 2003).

Se caracterizó el mapa de cobertura en dos clases: bosque y no bosque obtenido en la validación; se analizaron los verificadores de fragmentación (cuadro 2) usando la extensión Patch Analyst Grid (Elkie et al, 1999) del programa ArcGis 10.1 en formato raster.

**Cuadro 2.** Verificadores de fragmentación que se analizaron en el cantón Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 2014.

<b>Verificadores</b>	<b>Explicación</b>
Área por clase	Área correspondiente al conjunto de fragmentos que constituyen una clase determinada, se expresa en hectáreas (ha).
Porcentaje de paisaje	La suma de las áreas de todos los parches de cada clase en el total de área de paisaje (%).
Numero de parches	Número de fragmentos que poseen una determinada clase. Se representa en números enteros
Tamaño promedio de los parches	Relación entre el área ocupada por una clase y el número de fragmentos correspondientes a aquella clase. Se representa en hectáreas (ha).
Índice de forma	Analiza la complejidad de la forma de los fragmentos en comparación a una forma estándar. Valores cercanos a uno, los patrones de forma no son circulares, por lo que son áreas fragmentadas, menos irregulares y con formas simples.

**Fuente:** Torres, 2012

Además, se determinó la fragmentación actual del cantón según la categoría de bosque y no bosque mediante la siguiente formula:

$$F = \text{área de bosque (ha)} / \text{área total (ha)}$$

Los valores de F oscilan entre 0 y 1. Se caracteriza de acuerdo con los rangos de valores presentados en el cuadro 3

**Cuadro 3.** Valores para índice de fragmentación

<b>Rangos F</b>	<b>Grado de fragmentación</b>
F= 1	Sin fragmentación
F= < 1 ≤ 0,7	Fragmentación baja
F= 0,7 ≤ 0,5	Fragmentación media
F= < 0,5	Fragmentación alta

**Fuente:** Adaptado de Díaz, 2003

El análisis de conectividad se realizará para el año 2012, por lo tanto, serán tomadas como base únicamente la categoría bosque, que incluye: manglar, plantación forestal, bosque maduro y bosque secundario, ya que se interpretan como coberturas naturales que favorecen la conectividad (Calvo, 2009) y alta aptitud para el movimiento de los monos congo (Quan, 2002).

### 2.1 Conectividad estructural

De acuerdo con el cuadro 4, se emplearon dos verificadores que muestran el grado de movilidad que puede beneficiarse el mono congo; este primate, dada a que su desplazamiento es un indicador, ayuda a la conectividad para enlazar fragmentos por su amplia distribución y presencia numerosa en áreas protegidas (IUCN, 2011).

**Cuadro 4.** Verificadores de conectividad que se analizaron en el cantón Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 2014.

Verificadores	Explicación
Densidad de parches	El número de parches de cada clase por cada 100 hectáreas
Distancia más cercana al parche de la misma clase	Distancia al fragmento de la misma clase más próximo. Se representa en metros (m). Valores altos implica que los parches están aislados, por lo que existe más fragmentación.

**Fuente:** Torres, 2012

### 2.2 Conectividad Funcional

El grado de conectividad se basa en una adaptación de la metodología realizada por Calvo (2009). En la determinación del grado de conectividad en el estudio, antes mencionado, se llevó a cabo el análisis de conectividad utilizando la función *Cost Path* del programa ArcGis 10.1, para eso se necesita dos fases para su ejecución: selección de puntos de salida y variables físico-ambientales en escala de valores prioritarios con relación a la conectividad estructural del corredor biológico propuesta en el cantón Carrillo, Guanacaste.

### **Selección de puntos de salida**

Los puntos de salida para establecer el corredor propuesto fueron identificados por medio del trabajo con el mapa de Áreas Silvestres Protegidas del 2014. Para ello se utilizó la herramienta *Cost Path* del programa ArcGis 10.1 que calcula el costo mínimo de movimiento y posibles rutas de conectividad, a través de una capa que simula resistencia a la conectividad.

### **VARIABLES FÍSICO-AMBIENTALES**

Para la investigación se trabajó con cinco variables físico-ambientales con el fin de obtener un modelo que mostrara la resistencia a la conectividad. Las variables utilizadas fueron: ríos, poblados, carreteras, cobertura forestal y fragmentación. Cada una de ellas es una capa independiente del Atlas de Costa Rica 2014, en donde la información fue clasificada según la resistencia que ejerce las cinco capas a la conectividad del paisaje.

Para los resultados obtenidos de la capa de ríos, poblados, carreteras, fragmentación y cobertura forestal se procedió a convertirla en formato *raster*, con una resolución de celdas de 10m y se reclasificó utilizando la herramienta *Reclassify* del menú *Raster Calculator* del programa ArcGis 10.1, con los valores de fricción que cada una de las capas mostró (Calvo, 2009).

Los valores de fricción de cada variable físico-ambiental, según la conectividad del paisaje, se estableció en un rango de 1-100, donde uno es un valor mínimo de resistencia y el cien el valor máximo. En ciertos casos se definió un valor de resistencia de mil, con el fin de simular un efecto barrera (Calvo, 2009).

#### **a) Ríos**

Se utilizó la capa de ríos 1:50000 del Atlas Digital de Costa Rica 2014, en donde se clasificó de forma manual cada río según el orden *Horton-Strahler*, y se tomó como apoyo el Modelo de Elevación Digital (MED) y la capa de Cuencas Hidrográficas de Costa Rica 2014.

El orden *Horton-Strahler* clasifica los ríos en una jerarquía que se define como: ríos de primer orden: son los que no tienen afluentes; los de segundo orden; se conforman al unirse los del primer orden; los de tercer orden: se forman al unirse los de segundo y así respectivamente (Welcomme, 1989; Calvo, 2009).

**Cuadro 5.** Resistencia a la conectividad ejercida por los ríos, según el orden de Horton-Strahler elaborado a partir de Calvo (2009).

Orden	Valor de resistencia
1	1
2	17
3	41
4	64
5	83
6	100

Los datos de fricción aumentan de forma exponencial, esto quiere decir que el incremento del valor de resistencia crece en menor magnitud conforme el orden de *Horton-Strahler* para el río es mayor (Calvo, 2009).

#### a) Poblados

Se utilizó la capa de poblados del Atlas Digital de Costa Rica 2014, esta se definió según la siguiente clasificación: P1=grupo de pocas casas, P2= grupo de mediano de casas y cuentan con un punto de referencia (iglesia, escuela, plaza), P3= son poblados de mayor tamaño, esta categoría es similar a la C\_c: Cabecera de cantón.

Se utilizó la herramienta *Multiple Ring Buffer*, por medio de la creación de anillos múltiples de 10m cada uno hasta una distancia máxima de 100m para la clasificación P1 y P2 debido que son poblados de menor densidad. Mientras se crearon anillos múltiples de 100m cada uno hasta una distancia de 1 000m para la clasificación P3 y C-c, debido a que son poblados de mayor densidad, con el fin de crear una zona de influencia alrededor de los poblados.

**Cuadro 6.** Resistencia a la conectividad ejercida al tipo de poblado modificado de Calvo (2009).

<b>Valor de resistencia</b>			
<b>Distancia buffer (m)</b>	<b>P1 y P2</b>	<b>Distancia buffer (m)</b>	<b>P3 y C-c</b>
<b>10</b>	100	<b>100</b>	1000
<b>20</b>	90	<b>200</b>	100
<b>30</b>	80	<b>300</b>	90
<b>40</b>	70	<b>400</b>	80
<b>50</b>	60	<b>500</b>	70
<b>60</b>	50	<b>600</b>	60
<b>70</b>	40	<b>700</b>	50
<b>80</b>	30	<b>800</b>	40
<b>90</b>	20	<b>900</b>	30
<b>100</b>	10	<b>1000</b>	20

#### **b) Carreteras**

Se utilizó la capa de carreteras del Atlas Digital de Costa Rica 2014, esta las clasifica en caminos primarios, secundarios, terciarios y vecinas; esta capa cuenta con la información de Código de Ruta Nacional.

Terrones y Bonet (2014), en el *Diseño de una red de corredores ecológicos para carnívoros forestales en la Comunidad Valenciana*, asignó valores de resistencia de 1 000 a las autovías y autopistas, mientras que a las carreteras nacionales les asignó un valor de 800 y para las carreteras provinciales un valor de 200, sin embargo, dichos valores se adaptaron a la escala de 1-100 como se definió en el trabajo.

**Cuadro 7.** Resistencia a la conectividad ejercida por las carreteras del cantón Carrillo.

<b>Tipo</b>	<b>Resistencia</b>
Primarias	1000
Secundarias	80
Terciarias y Vecinales	20

### a) Cobertura

Se utilizó la capa de Tipos de Bosque de Costa Rica 2012, del Atlas Digital de Costa Rica 2014. Se tomaron seis categorías que forman parte del corredor propuesta: bosque maduro (1), bosque secundario (3), manglar (4), plantación forestal (6), pastos (8) y no forestal (10).

Las coberturas naturales tales como: bosque maduro, bosque secundario, manglar y plantaciones forestales ejercen una resistencia mínima a la conectividad; mientras pastos y no forestal ejerce una resistencia alta a la conectividad (Calvo, 2009).

**Cuadro 8.** Reclasificación y resistencia para la conectividad con respecto a la cobertura de la tierra modificado de Calvo (2009).

Clasificación	Reclasificación	Resistencia
Bosque maduro	1	
Bosque secundario	1	1
Manglar	1	
Pastos	2	
No forestal	2	100
Plantaciones forestales	3	10

Los valores de resistencia del cuadro 8 concuerdan con los utilizados por Ruiz et al (2010) en el estudio de conectividad ecológica en la CAPV. Genética del Paisaje aplicada sobre una especie-objetivo de la Red de Corredores Ecológicos: la marta europea (*Martes martes* Linnaeus, 1758); y Gurrutxaga (2014) en la categorización de corredores ecológicos en función de su contribución a la conectividad de la red natura 2000. Implicaciones para la ordenación del territorio.

Los valores transformados a la escala 1-100, ambos estudios asignan un valor de resistencia de uno a los bosques y de 100 a las zonas no forestales. Además, asignan un valor de 10 a las plantaciones forestales.

### a) Fragmentación

Se utilizó la herramienta *Distance/Euclidean Distance* para definir la distancia entre fragmentos de cobertura natural (bosque maduro, bosque secundario, manglar y plantaciones forestales) en el corredor propuesta del cantón Carrillo.

Los valores de fricción cambiarían en menor magnitud según crece el recorrido entre fragmentos (Calvo, 2009). Una vez definidos los valores de fricción se procedió a estandarizarlos a una escala de 1-100 con la ecuación:  $y = -455 + 4,86x$ , donde "y" es el valor de fricción estandarizado y "x" es el valor calculado por la ecuación.

**Cuadro 9.** Resistencia para la conectividad con respecto a las diferentes distancias entre fragmentos de cobertura natural modificado de Calvo (2009).

Distancia (m)	Resistencia
90	1
180	10
270	24
360	36
450	47
540	56
620	62
710	68
800	73
890	77
980	81
1070	84
1160	87
1250	90
1340	92
1430	94
1520	96
1610	97
1700	99
1790	100

### Valores de fricción o resistencia al movimiento

La suma ponderada de las cinco variables físico-ambientales fueron tomados de Calvo (2009), donde se otorgó un peso a cada variable con el objetivo de minimizar la subjetividad de las mismas

El peso de ponderación fue definido con una entrevista a representantes del PROMEC-CR. Esta técnica consiste en establecer un valor de prioridad para una variable con respecto a otra de acuerdo a una escala de calificación.

**Cuadro 10.** Peso de las variables físico-ambientales utilizadas para la capa de resistencia basado en Calvo (2009).

Variables					
	Ríos	Poblados	Carreteras	Cobertura	Fragmentación
Peso	0,088	0,109	0,146	0,219	0,438

### 3. Modelo de restauración en áreas ambientalmente frágiles

El valor de la restauración está en función de los objetivos para cada caso, es decir, que clarifiquen y den solidez a cada una de las acciones propuestas, desde una perspectiva práctica-científica, donde se identifique claramente la aceptación social, la capacidad técnica, la disponibilidad económica y la identificación de limitantes (Jiménez et al, 2002).

El modelo para este trabajo se basó en restauración inducida mediante acciones de reforestación, lo que se pretende es recuperar áreas afectadas por condiciones de orden ambiental o antropogénicas.

#### 3.1 Aspecto socio-cultural

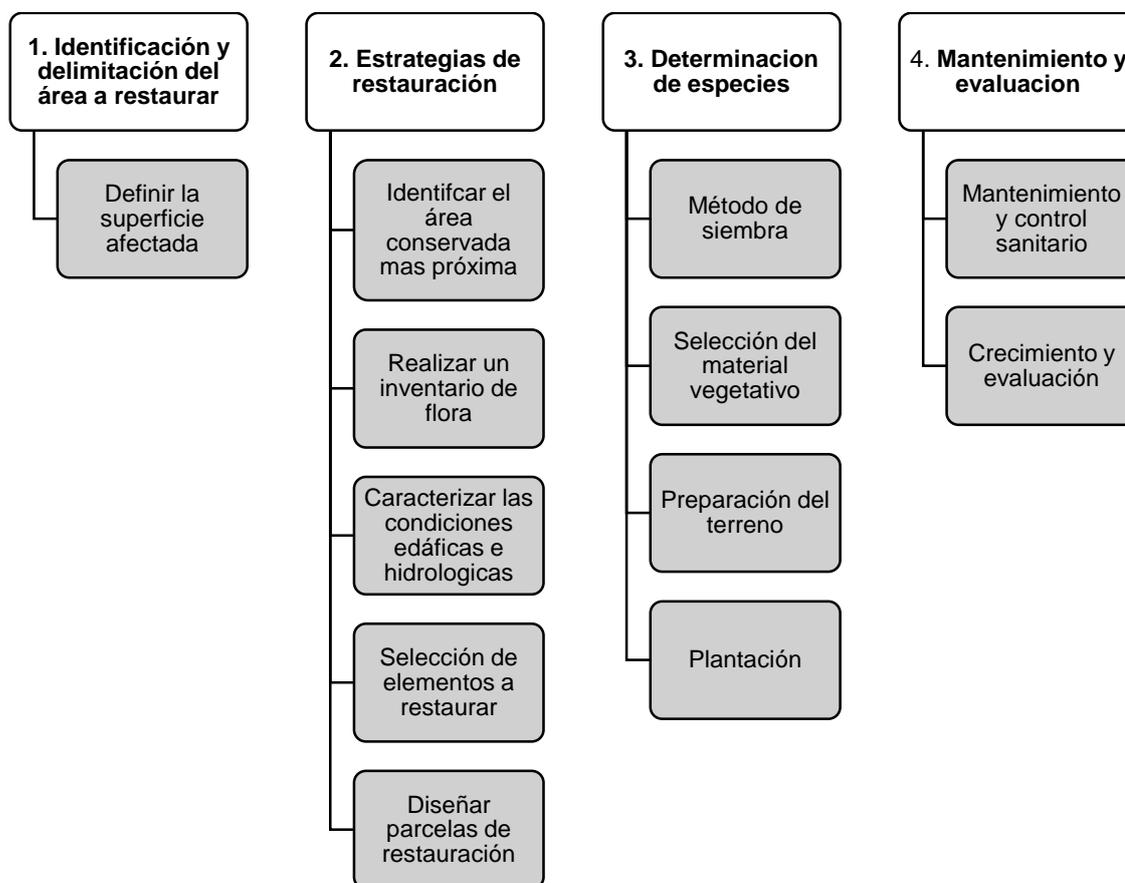
Se propone diseñar un taller de inducción para los dueños de áreas fragmentadas (pastos, cultivos y fincas ganaderas) con el fin de fomentar educación ambiental e introducir a los participantes en temas de conectividad, restauración de áreas y su manejo. Con lo anterior se pretende trabajar de forma responsable y así obtener las opiniones necesarias de los participantes para crear estrategias o mecanismos que puedan recuperar las áreas degradadas.

Los conocimientos que tienen los habitantes sobre su cantón, su historia y usos de las especies son de gran valor para el éxito del proyecto.

Los esfuerzos de recurso humano se encaminan al fortalecimiento de capacidades a través de la educación ambiental en temas alusivos a los recursos naturales. Así mismo, se concentran esfuerzos en la identificación y formación de líderes generadores de cambios locales (Canet y Martínez, 2013).

### 3.2 Aspecto Silvicultural

La metodología se basará en la *Guía de restauración de ecosistemas forestales* (Comisión Nacional Forestal, 2009) y el *Modelo de Restauración Ecológica* (Sol et al, 2002), para establecer conectividad en las áreas fragmentadas. Para eso se evaluará las 2 rutas establecidas (figura 5) dentro del cantón, esto para conocer las áreas fragmentadas y sus posibles procesos de recuperación (Figura 2).



**Figura 2.** Proceso de restauración de áreas ambientalmente frágiles

## RESULTADOS

### 1. Validación de datos de campo

Se validaron los datos de campo con el mapa de Tipos de Bosque de Costa Rica 2012, mediante una matriz de error. La cantidad de pixeles clasificados correctamente fue de un 93,37% de exactitud total entre la categoría de bosque y no bosque (Cuadro 10).

**Cuadro 11.** Matriz de error para la categoría de Bosque y No Bosque, Carrillo, Guanacaste.

Clase	Bosque	No Bosque	Total general
Bosque	93	2	95
No Bosque	9	62	71
Total general	102	64	166

La categoría de bosque fue clasificada según la exactitud de productor, esto es: dos veces como no bosque, mientras que no bosque se clasificó nueve veces como bosque. Estos resultados se debieron a que el comportamiento espectral de las clases fueron similares y, por lo tanto, fue difícil de separarlos, para el resto de clases la validación coincidió.

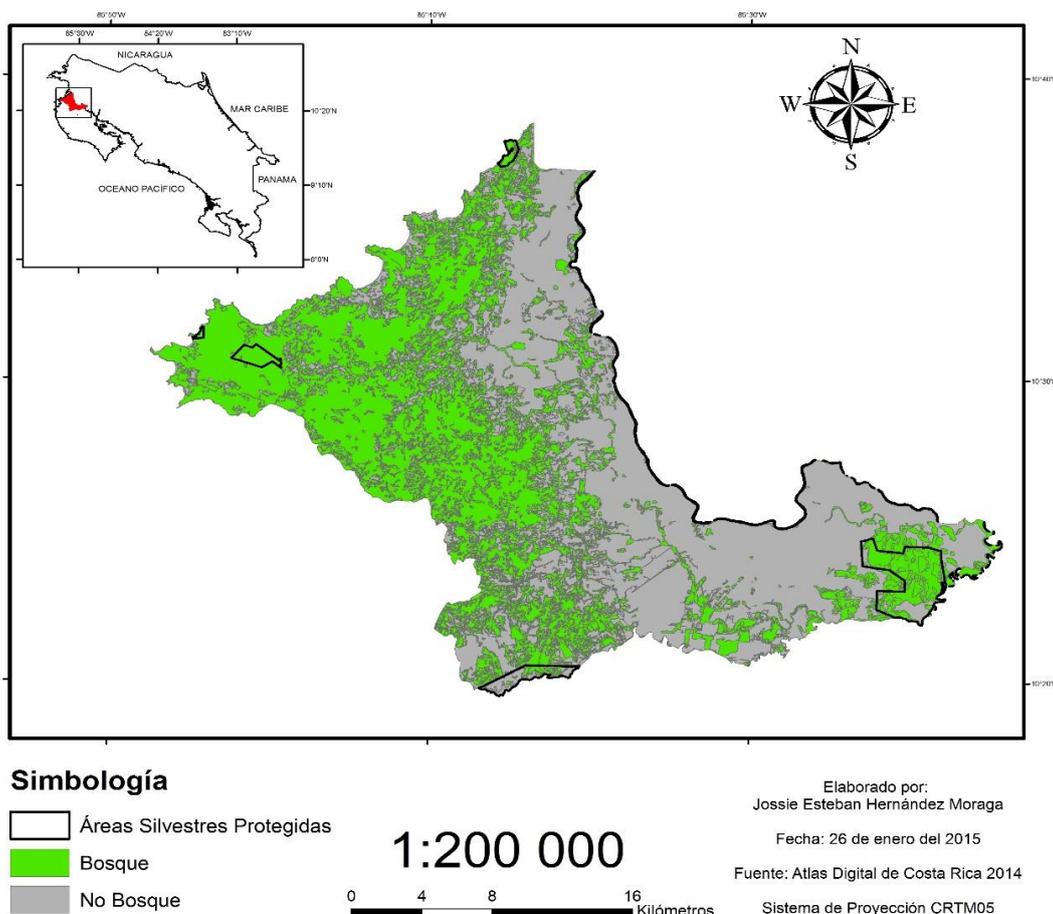
La exactitud (%) del usuario fue mayor para la categoría de bosque; es posible que esto se deba a la distinción y separación de las coberturas presentes en la categoría. De igual forma estas coberturas también presentaron la mayor exactitud del productor debido a la correcta clasificación supervisada, tanto en la toma de datos en el campo como en el uso del programa para especificar cada cobertura (Cuadro 11).

**Cuadro 12.** Exactitud de usuario y del productor, para categoría Bosque y No Bosque del cantón Carrillo, Guanacaste.

Tipo de Cobertura	Exactitud del Productor (%)	Exactitud del Usuario (%)
Bosque	91,18	97,89
No Bosque	96,88	87,32

El estadístico Kappa ( $K_{hat}$ ), se utilizó para determinar la probabilidad de que los resultados de una clasificación sean producto del azar, para este caso, el resultado obtenido fue de 0,86, lo anterior señala que la clasificación es un 86% mejor que la separable por el simple azar. El  $K_{hat}$  es menor que la exactitud total 93,37% dado que cada estadístico se calcula usando diferente información (datos de la diagonal de la matriz, datos de inclusión y exclusión). El error global fue de un 6,63%, inferior al 10% permitido, lo cual muestra una precisión entre el productor y el usuario.

Luego de la validación del mapa de Tipos de Bosque de Costa Rica 2012, se obtuvieron dos categorías para el 2014: bosque y no bosque (Figura 3). La mayor concentración de la categoría bosque se encontró en el margen izquierdo del cantón mientras que al margen derecho se centralizó la clase de no bosque, existen parches aislados de bosque en la parte inferior derecha.



**Figura 3.** Categoría de bosque y no bosque en el cantón Carillo, Guanacaste, Costa Rica

## 2. Fragmentación y Conectividad

### 2.1 Fragmentación

Se analizó el paisaje en una matriz por categoría de 60205,32 hectáreas. La clase bosque cubrió un área de 31405,08 ha (52,16%), mientras que la clase no bosque fue de 28800,24 ha (47,84%).

**Cuadro 13.** Valores de las métricas de paisaje para la categoría de bosque y no bosque en el cantón Carrillo, Guanacaste, Costa Rica.

<b>Métricas del Paisaje</b>	<b>Bosque</b>	<b>No Bosque</b>
<b>Área por clase (ha)</b>	31405,08	28800,24
<b>Porcentaje en el paisaje (%)</b>	52,16	47,84
<b>Número de parches</b>	266	375
<b>Tamaño promedio de los parches (ha)</b>	118,06	76,80
<b>Índice de forma</b>	1,38	1,31

El mayor número de parches se presentó en la categoría no bosque con un total de 375, seguido por bosque con 266. El tamaño promedio de los parches para la categoría de bosque fue de 118,06 ha, por lo que tiende ser un sitio menos fragmentado mientras que no bosque fue de 76,80 ha siendo más fragmentado.

Para el índice de forma, la categoría de no bosque posee polígonos menos irregulares y simples con un valor de 1,31 en comparación a la categoría de bosque que presenta polígonos más irregulares. Los valores del grado de fragmentación por categoría bosque y no bosque se muestran en el cuadro 13, estos valores son equivalentes porcentuales del grado de fragmentación para ambas categorías, por lo que se presenta, así, un rango entre el 4% y 5% que, unido al índice de forma anterior (cuadro 12), muestra una alta fragmentación.

**Cuadro 14.** Grado de fragmentación para la categoría bosque y no bosque en el cantón Carrillo, Guanacaste, Costa Rica

<b>Clase</b>	<b>Valor F</b>	<b>Grado de Fragmentación</b>
<b>Bosque</b>	0,5	Fragmentación alta
<b>No Bosque</b>	0,4	Fragmentación alta

## **2.2 Conectividad**

### **2.2.1 Conectividad Estructural**

Los valores de la densidad de parches de categoría bosque y no bosque dan una idea de su distribución espacial. No bosque presentó una densidad de parches de 0,62, que corresponde a un índice mayor a bosque, con 0,44 debido a la existencia de grandes áreas de cultivos seguidos por pastos, que con el pasar de los años han fraccionado el paisaje.

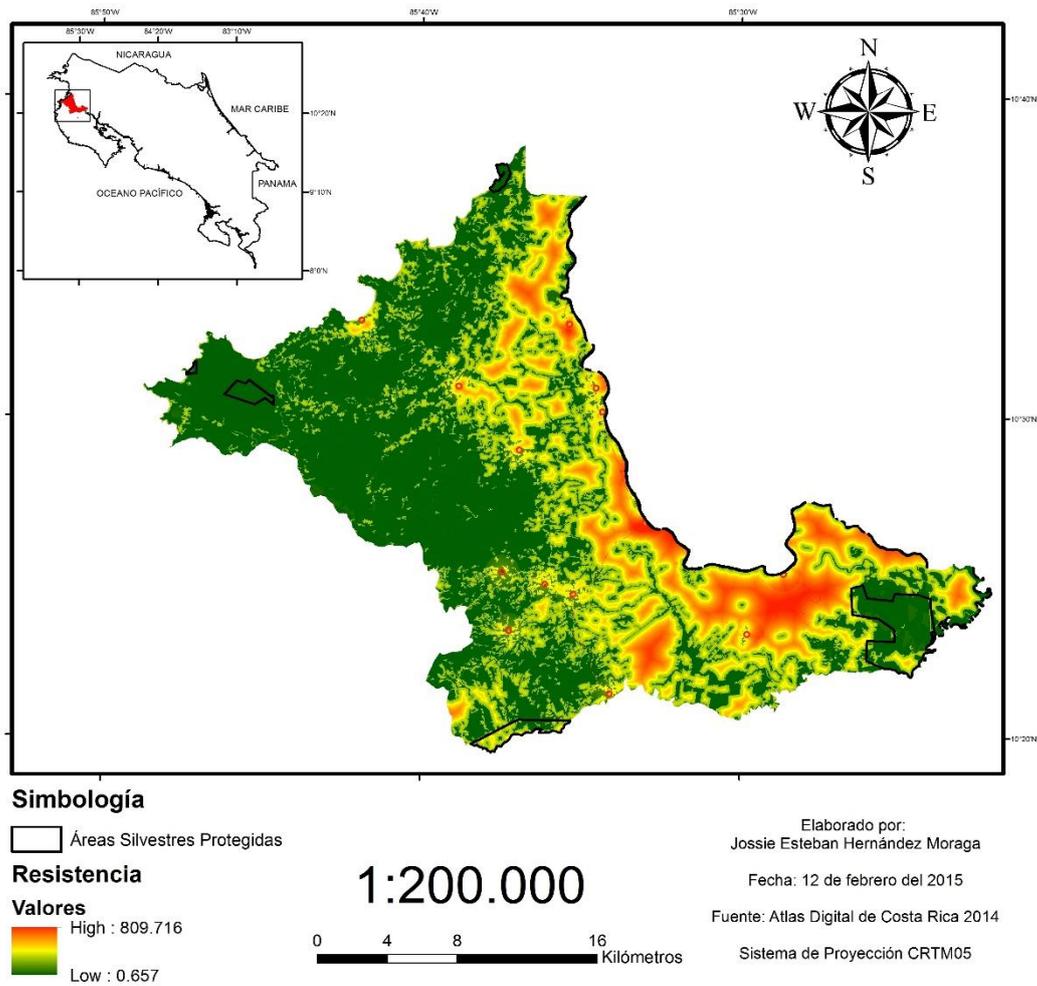
**Cuadro 15.** Valores de las métricas de paisaje para la categoría de bosque y no bosque en Carrillo, Guanacaste, Costa Rica.

<b>Métricas del Paisaje</b>	<b>Bosque</b>	<b>No Bosque</b>
<b>Densidad de parches</b>	0,44	0,62
<b>Distancia más cercana al parche de la misma clase (m)</b>	200	194

La categoría de no bosque presentó una distancia promedio a su vecino más cercano de la misma categoría de 194 metros, seguido por bosque con una distancia de 200 metros. Lo anterior muestra que los parches de esta misma categoría se encontraban más separados con respecto a la no bosque.

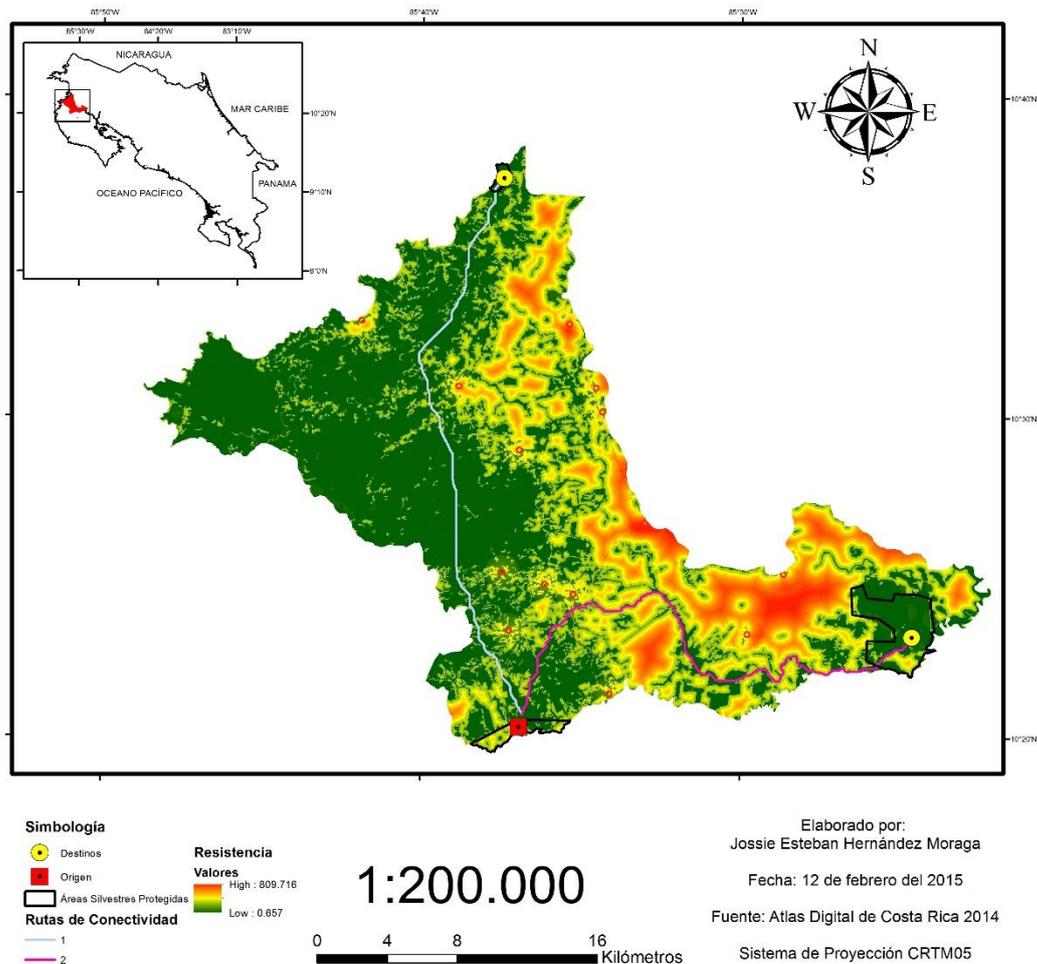
### **2.2.2 Conectividad Funcional**

Se creó la capa de resistencia con base en los datos obtenidos de las variables físico-ambientales utilizadas. Esta presenta valores de 0 a 800 según el estado de fricción o resistencia del área. Estos valores son representados por una entonación de colores, a lo que el verde corresponde a una menor resistencia y rojo mayor resistencia dentro del cantón Carrillo como lo muestra la figura 4.



**Figura 4.** Resistencia a la conectividad según valores físico-ambientales en el cantón Carrillo, Guanacaste.

Luego de obtener la capa de resistencia, se determinaron dos posibles rutas de costo para establecer conectividad entre parches de bosque del paisaje. Con base en la resistencia obtenida a partir de las variables físico-ambientales se determinan el tipo de cobertura en el cantón Carrillo, la ruta 1 tiene como origen el área silvestre protegida Humedal río Cañas, con destino a la Reserva de Vida Silvestre Iguanita, por lo que corresponde a la de menor costo, mientras que la ruta 2 tiene como origen el área silvestre protegida Humedal río Cañas, con destino a la Reserva de Vida Silvestre Hacienda El Viejo, y es la de mayor costo. Al tener establecidas las rutas, se facilita la posible movilidad o paso del *A. palliata* en áreas de cobertura natural que formen parte de su dieta (Figura 5).



**Figura 5.** Rutas de menor costo para establecer conectividad en el cantón Carrillo, Guanacaste.

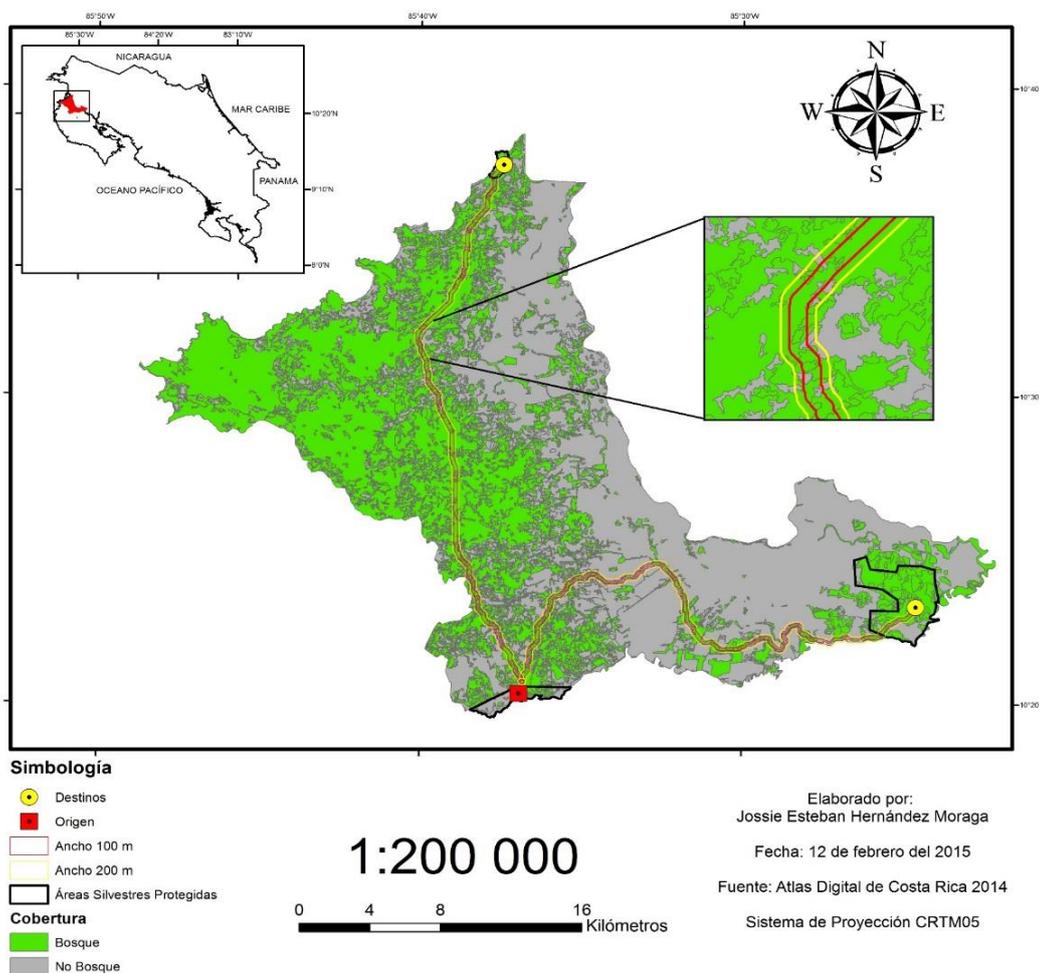
### 3. Modelo de restauración

#### 3.1 Aspecto sociocultural

El propósito del taller es que los propietarios de áreas fragmentadas en el cantón se involucren con temas de restauración con la finalidad de: el desarrollo productivo (sistemas agroforestales, madera y productos no maderables) y la recuperación de los bosques y tierras degradadas o ambientalmente frágiles, sin afectar, de manera directa, otras actividades productivas de los responsables de las áreas. Además, se pretende fomentar el ecoturismo como una forma para avanzar en los proyectos de conservación en las áreas protegidas presentes (Anexo 1).

### 3.2 Aspecto silvicultural

Se creó dos anchos de 100m y 200m de las rutas principales de conectividad con la categoría bosque y no bosque. El ancho de menor costo se identificó con un trazo de línea color rojo, mientras que el ancho de mayor distancia de color amarillo (Figura 6).



**Figura 6.** Ancho de las rutas principales de conectividad en el cantón Carrillo, Guanacaste.

Así mismo, se determinó el área total de no bosque en los anchos de 100m y 200m, esto para establecer estrategias de restauración inducida en los parches o áreas fragmentadas dentro del cantón (Cuadro 15).

**Cuadro 16.** Valores de área total (en hectáreas) de no bosque en dos anchos de ruta en Carrillo, Guanacaste, Costa Rica.

Sección	Ancho	
	100m	200m
No Bosque	106	168

### 3.3 Modelo de restauración

Este se basará mediante la *Guía de restauración de ecosistemas forestales* (Comisión Nacional Forestal, 2009) y el *Modelo de Restauración Ecológica* (Sol et al, 2002).

#### El modelo de restauración consistirá en cuatro pasos

La reforestación en procesos de restauración toma en cuenta procedimientos y etapas para obtener la plantación, para esto es necesario gestiones posteriores como el mantenimiento y evaluación, ya que permite asegurar que los procesos sean un éxito.

**Paso 1. Identificación y delimitación del área a restaurar.** Lo que se pretende es iniciar los procesos para la restauración de áreas frágiles con acciones de reforestación. Mediante trabajos de campo y sistemas de información geográfica se pueden determinar las áreas frágiles para empezar el establecimiento de la plantación.

#### Paso 2. Estrategias de restauración.

- Identificar el área conservada más próxima. Es necesario seleccionar un área que se encuentre lo más conservada posible, debido a que se utilizará como ecosistema de referencia para crear el sistema de restauración: especies a utilizar, densidad y distribución. En el sitio actual de selección se evaluará la flora presente.

- Realizar un inventario de flora arbórea y arbustiva. Se determina la cantidad de individuos por especie que se deben incorporar en el área frágil y se extrapola toda la unidad de restauración. Con esto se puede calcular la cantidad de plantas por especie necesarias en el proceso de restauración.
- Caracterizar las condiciones edáficas e hidrológicas. Es necesario identificar las características del suelo e hidrográficas, importantes para crear los procesos de restauración; de ahí se llega a conocer las posibles necesidades de mejora del suelo como fechas de siembra y las especies probables a utilizar.
- Selección de elementos a restaurar. Al tener determinada la flora existente en el área alterada como la conservada, por diferencia se obtienen los individuos faltantes que se integrarán al área a restaurar. No siempre es posible restablecer la diversidad original.
- Diseñar las parcelas de restauración. Se debe realizar un mapeo de todos los individuos, así mismo como un diagnóstico agroecológico del sitio para conocer las necesidades de recuperación del área frágil. Algunas especies quedarán entremezcladas y otras se establecen en forma monoespecífica, sobre todo aquellas que son más exigentes en cuanto sustrato y agua.

### **Paso 3. Determinación de especies**

- Método de siembra. Previamente a realizar la siembra, los sitios deben de medirse para la etapa del establecimiento de la parcela; para eso se deben utilizar cuerdas o estacas. Así mismo, es importante realizar un chapeo inicial (en los lugares que así lo requieran), consiste en limpiar a 1,5m de diámetro alrededor de los hoyos de siembra. Una vez ubicado los hoyos, el siguiente paso es la siembra de las plantas: se hacen hoyos de 40x40cm de profundidad para que, posteriormente, se inserte la planta, se rellene con la tierra y se compacte con el pie.

- Selección del material vegetativo. Se seleccionarán plantas nativas jóvenes o adultas de la zona alterada o conservada. Con este método se permite generar nuevos individuos idénticos a los árboles parentales a partir de partes vegetativas de las plantas. En este proceso se involucran cuatro acciones: elección y manejo de la planta donante, obtención de ramas u otro tipo de segmentos de las plantas en crecimiento, transportación al área a reforestar y plantación en el suelo para producir enraizamiento.
- Preparación del terreno. Lo relevante de preparar el terreno es optimizar las condiciones del suelo para certificar una mayor sobrevivencia de las plantas que se van a establecer. Esta operación ayuda a neutralizar los factores que restringen el establecimiento inicial y favorecen que la raíz tenga las condiciones de humedad y porosidad para su rápido crecimiento, así se fortalece su capacidad de adquirir agua y nutrientes en un área amplia.
- Plantación. Involucra trabajos para el establecimiento de la planta en campo, como apertura de hoyos y reforestación.

#### **Paso 4. Mantenimiento y evaluación**

- Mantenimiento y control sanitario. Las labores como el replante, deshierbe, fertilización y riego forman parte del seguimiento al proceso de reforestación y son esenciales para avalar la permanencia de la plantación. Además, es necesario un control sanitario en las especies ya que este consiste en resguardar o cuidar la reforestación contra posibles agentes que puedan afectar o provocar algún daño, tales como las plagas y enfermedades.
- Crecimiento y evaluación. La valoración del crecimiento y desarrollo de las plantas se debe de realizar mediante el muestreo de los siguientes parámetros: crecimiento de longitud, diámetro basal y aparición de hojas.

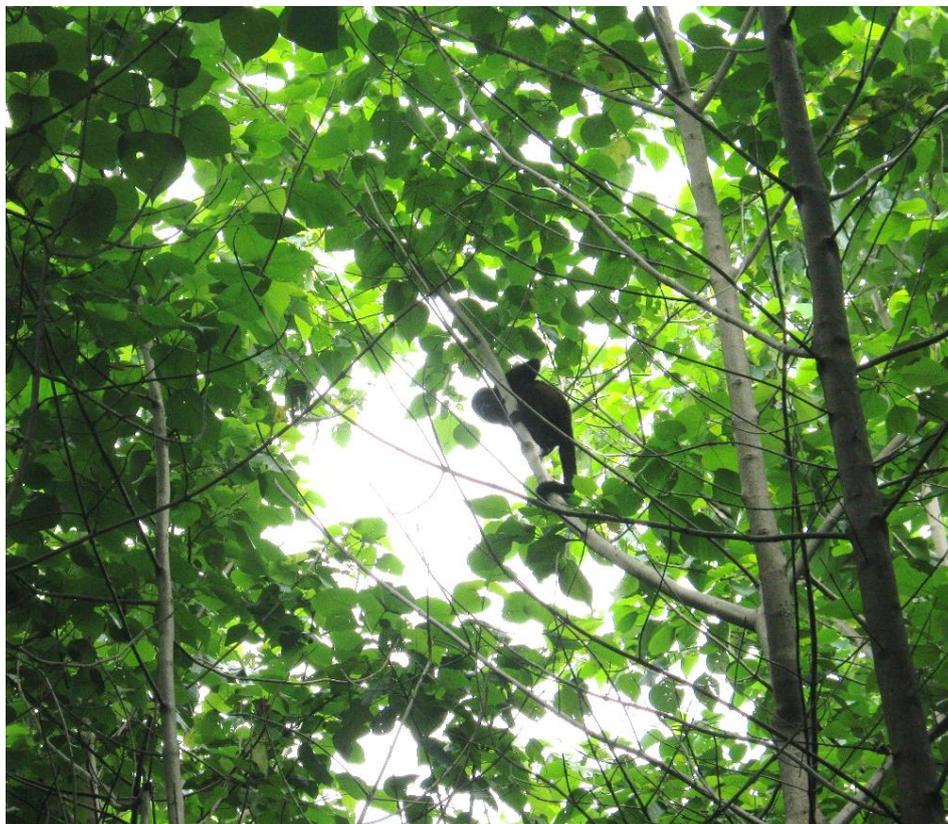
Además, es importante mencionar que la variable más destacada es la sobrevivencia de la planta.

Los anteriores son los pasos esenciales para establecer restauración mediante reforestación. Es importante señalar que el tipo de recuperación dentro del cantón será distinto de acuerdo al área frágil o degradada dentro de las categorías cultivos, humedales, infraestructura y pastos. Para esto se debe de tener en cuenta el paso 1 para la identificación de la zona a recuperar, debido a que mapa de cobertura del 2014 no incluye las categorías antes mencionadas, su ya que clasificación es de pastos y no forestal.

## DISCUSIÓN

### 1. Validación de la clasificación

El presente estudio se basó en una reagrupación de las coberturas de la tierra presentes en el cantón Carrillo en bosque y no bosque para mayor exactitud, se categorizó de este modo por la presencia de mono congo como especie indicadora en plantaciones de melina (*Gmelina arborea*) (Figura 7). Esto garantiza la presencia de la especie en cualquier cobertura natural en el área de estudio; además, es mucho más viable enfocarlo en bosque porque así es más fácil conocer su distribución espacial según su dieta.



**Figura 7.** Presencia de *A. palliata* en plantación de melina

Se realizó una verificación del mapa de Tipos de Bosque de Costa Rica 2012 con puntos de control del 2014, esto para obtener un panorama más amplio sobre cuánto ha cambiado la cobertura en dos años y cuán fragmentado se encuentra. Además, en la validación se obtuvo una exactitud de un 93,37%, porcentaje que presenta una similitud con el estudio de Torres (2012) que reporta un 94,70% de exactitud; pero diferente a Gómez (2014) que reportó un 77,01% de exactitud.

Lo anterior demuestra que los posibles errores de la clasificación pueden estar determinados por los puntos de control obtenidos en el campo, interpretación del productor y sesgo del GPS, además de la resolución espectral de las imágenes satelitales utilizadas.

Por medio de la validación del mapa de cobertura 2012 con la verificación de datos de campo 2014, se demuestra que el mapa tiene un grado de confiabilidad para trabajar en fragmentación y conectividad por su alta exactitud en bosque y no bosque.

## **2. Fragmentación**

La categoría de bosque, según la figura 3, muestra cómo la fragmentación está distribuida dentro del cantón Carrillo, concentrándose principalmente en el margen izquierdo del mapa. De igual forma, existe una presencia baja de parches de bosques que están rodeados por la categoría no bosque.

Sánchez-Azofeifa et al (2002), mencionan que la tasa de deforestación entre los años de 1950 y 1980 en Costa Rica fueron altas, lo cual propició un proceso de destrucción, reducción, degradación y fragmentación de hábitats. Así Bouroncle (2008), de manera similar, señala que entre los años 1986 y 1991 la deforestación en Costa Rica produjo un incremento representativo de fragmentos de bosques pequeños, entre 3 a 50 hectáreas, rodeados de una matriz de cultivos y pastos. Bennett (1998), por su parte, agrega que la principal causa de fragmentos aislados de bosques remanentes están adheridas a los asentamientos humanos y terrenos agrícolas. Él toma en cuenta que el número de parches de la categoría de bosque es mucho menor, lo que valida que el cantón ha ido creciendo en nodos o parches de bosque debido a sus actividades inherentes a la dinámica de los ecosistemas.

La categoría de bosque presentó un índice de forma alto (1,38), siendo esta mucho más irregular. Calvo y Castro (2012) mencionan que, mientras más simple sea la forma, el polígono se asimilará a un círculo y el índice oscilará entre el valor de uno, y aumentará de manera infinita según incrementa la complejidad y tamaño del fragmento, como lo muestra el índice de la categoría bosque.

Así mismo, se ha comprobado que formas más complejas y tamaños pequeños que pueden derivar en una disminución en el número de especies, ya que se ha determinado que los sitios que presentan estas características contenderían comparativamente menos especies que aquellos de formas más simples y regulares (Guariguata y Kattan, 2002). Lo anterior puede ser un factor importante en la distribución del mono congo en el cantón y su presencia en las plantaciones observadas en el campo (plantaciones de melina).

Forman y Godron (1981) hace mención del tamaño promedio de fragmentos, el cual es considerado como el principal predictor de la diversidad de especies, dentro de una unidad de paisaje. Así mismo, se muestra que la categoría de bosque presenta un valor de 118,06ha con una mayor cantidad de fragmentos; por lo tanto, se determina que el cantón se encuentra altamente fragmentado con un 5% de la categoría antes mencionada.

### **3. Conectividad**

#### **3.1 Análisis de Conectividad Estructural**

La conectividad estructural ignora la respuesta y el comportamiento de los organismos en la estructura del paisaje y más bien describe las relaciones físicas como corredores o distancias entre parches o hábitats bajo estudio (Crooks y Sanjayan, 2006; Ríos, 2011).

Monedero y Gutiérrez (2001) se esperaría encontrar en áreas intervenidas y fragmentadas en altas densidades, lo que demuestra que la categoría de bosque presenta una densidad relativamente baja (0,44) en número de fragmentos por cada 100 ha, en comparación a las áreas de intervención humana.

Así mismo, Lozano et al (2011) mencionan que aunque las densidades de los fragmentos no son muy frecuentes con respecto al área de estudio, aún mantiene una conectividad espacial, independiente a la forma y área que ocupen. Es necesario aclarar que, aunque la densidad de parches en la categoría de bosque sea baja, no significa que se pierda del todo la conectividad espacial entre nodos.

En paisajes fragmentados, la distancia entre los parches no es una línea recta entre los centros de estos. La distancia entre estos está influenciado por la topografía, la estructura del paisaje, cobertura de la tierra y las actividades humanas (Useche, 2006). La distancia a la misma categoría de bosque es respectivamente alta (200m), lo cual puede ser una limitante para el movimiento del mono congo dentro del cantón, principalmente en parches pequeños rodeados de no bosque. Quan (2002) reporta una distancia mínima promedio para áreas de alta movilidad de 110m, lo cual se reporta que el número de congos en un parche está, de modo negativo, correlacionado con la distancia al bosque más cercano (Estrada y Coates-Estrada, 1994; Quan, 2002). Sin embargo, la distancia del estudio es mucho más amplia lo cual dificulta el congo entre nodos.

Además, Quan (2002) menciona los valores de distancias y la necesidad de tomarlos en cuenta como un promedio, determinado principalmente por los valores de cercanía del gran número de parches de pequeño tamaño. De igual forma, es importante considerar que, posiblemente, el consumo de energía en estos sitios sea mayor debido al esfuerzo de movilización efectuada por los monos congos, comparado con la oferta de alimentos disponibles.

### **3.2 Análisis de Conectividad Funcional**

La conectividad funcional aumenta en la medida en que algunos cambios en la estructura del paisaje incrementan el grado de movimiento o flujo de organismos a través del paisaje; estos cambios incluyen, pero no se limitan, a cambios en la conectividad estructural (Crooks y Sanjayan, 2006).

Los valores de resistencia, según la figura 4, a partir de las variables físico-ambientales tienen un comportamiento, si este tiende a ser bajo, se debe a la concentración de cobertura boscosa (bosque maduro, bosque secundario, manglar y plantaciones), en donde se toman en cuenta los alrededores de las áreas protegidas presentes. De otra forma, si los valores tienden a ser altos, representan áreas aisladas o fragmentadas por zonas no boscosas (poblados, cultivos, suelos desnudos, pastos, carreteras y ríos).

Ricketts (2001) menciona que la fricción de un tipo de uso del suelo es la resistencia de este uso al desplazamiento de los organismos. Por eso, si existe un tipo de cobertura de la tierra que presenta una fricción alta al desplazamiento, la fauna no transitará o atravesará por él. Por ejemplo, los cultivos agrícolas son considerados áreas hostiles para el mono congo, por consiguiente, este tipo de áreas se convierten de alta fricción para este tipo de fauna.

Las rutas de conectividad, como lo muestra la figura 5, tienen como propósito crear posibles trayectos de desplazamiento entre parches de bosques (áreas silvestres protegidas) del paisaje, y se tendría un panorama amplio para posibles corredores biológicos. Se determinaron dos rutas, cada una presenta un costo de distancia según el valor de resistencia ejercida en el sector del cantón. El estudio de conectividad ecológica en la CAPV. *Genética del paisaje aplicada sobre una especie-objetivo de la Red de Corredores Ecológicos: la marta europea (Martes martes)*, menciona que las distancias se han calculado como una función de distancia y resistencia entre pares de individuos (LCD). Así, los individuos que se encuentran más distanciados en el espacio tienden a estar separados por una mayor distancia de costo, lo que implica una distinción entre un patrón netamente espacial y los efectos del paisaje particularmente complejos (Cushman et al. 2006; Ruiz et al, 2010).

Lo anterior hace referencia a la dificultad de movimiento que puede llegar a tener la especie indicadora *A. palliata* en los pequeños parches de bosque, en donde las distancias próximas al siguiente parche son grandes, situación que implicando una restricción en sus dietas.

#### **4. Restauración**

En la actualidad, cuando se habla de restauración del paisaje no se busca retornar a puntos de vista pasados del uso de la tierra. Más bien, se trata de asegurar que las generaciones actuales y futuras puedan contar con bienes y servicios ecosistemáticos clave y hacer frente de modo eficaz a las incertidumbres climáticas, económicas y sociales (Laestadius et al, 2011).

Chazdon (2008) señala tres enfoques con respecto a la restauración: en primer lugar, la restauración de la fertilidad de los suelos de uso agrícola o forestal; en segundo lugar la producción de madera y productos no maderables del bosque; y en tercer lugar, la recuperación de la biodiversidad y servicios ecosistémicos. Para efectos del presente estudio se establece un proceso de manera asistida, comúnmente llamada restauración activa o inducida: reforestación.

Para establecer las estrategias de restauración mediante reforestación, se crearon dos anchos de 100m y 200m en las rutas de conectividad, con esto se determinan las áreas de pasto y no forestal que es necesario recuperar para unir parches de bosque y así establecer corredores biológicos en las áreas ambientalmente frágiles.

Según se muestra en la figura 6, el ancho recomendado para la restauración es el de 100m debido a que contempla pequeñas áreas a recuperar de 106,28ha entre pastos y no forestal. Esta además, es una distancia recomendable para la unión de parches según el comportamiento del mono congo. Quan (2002) menciona lo recomendado son distanciamientos de 110m para una alta movilidad de esta especie entre nodos, por eso, aunque algunos estén cercanos entre sí, es posible que la calidad de hábitat que presenten individualmente no sea lo suficiente buena para suplir los requerimientos de las tropas que en ellos habitan.

Sin embargo, si se toma el distanciamiento de 200m está contempla más área a recuperar de 168,01ha entre pastos y no forestal. De igual forma, este ancho incorpora algunas áreas del cantón de Liberia en el margen inferior derecho, espacio que no forma parte del estudio; además, es una distancia amplia que puede incorporar áreas sin valor de importancia para recuperar.

## CONCLUSIONES

- La validación final tuvo una exactitud del 93% para las categorías de bosque y no bosque, comprobando la confiabilidad del mapa de Tipos de Bosque de Costa Rica 2012.
- Se determinó que el cantón se encuentra altamente fragmentado según la categoría de bosque.
- Se garantiza que las rutas de costo propuesta son funcionales y favorecen en la conectividad del cantón para posibles corredores biológicos.
- Se comprobó que la ruta uno o principal de conectividad corresponde a la de menor costo, facilitando la movilidad del mono congo.
- Se establece que el ancho de 100m es el óptimo para restaurar mediante reforestación como estrategia para la creación de corredores biológicos.

## RECOMENDACIONES

- Efectuar un monitoreo más exhaustivo del cambio de cobertura del cantón.
- Realizar estudios del *Alouatta palliata* (mono congo) como especie vulnerable a la fragmentación, según su hábitat en el cantón, y propiciar los parches de bosque “trampolines”.
- Crear puentes aéreos y túneles subterráneos en las áreas de mayor resistencia (carreteras) para favorecer el paso del *Alouatta palliata* (mono congo) de un nodo a otro.
- Crear conciencia en el tema de restauración en las comunidades y fomentar el establecimiento de corredores biológicos como atractivo turístico.

## BIBLIOGRAFÍA

Ambroggio, J., Camacho, J.C., Sánchez, O.M., Otey, C., Solís, J., Paniagua, M., Garita, E., Núñez, C., Leiva, M., González, V., Carballo, X. 2009. Proyecto Fortalecimiento de las Capacidades Municipales para la Planificación del Desarrollo Humano Local en Costa Rica. Plan de Desarrollo humano local del cantón Carrillo 2010-2020. 69 p.

Baumgarten, A. y G.B. Williamson. 2007. The distributions of howling monkeys (*Alouatta pigra* and *A. palliata*) in southeastern Mexico and Central America. *Primates*. 48 (1): 310-315

Bennett, A. 1998. Enlazando el paisaje: el papel de los corredores biológicos y la conectividad en la conservación de la vida silvestre. Gland, Suiza. IUCN. 276 p.

Bennett, AF. 2004. Enlazando el paisaje: el papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre. San José, Costa Rica, Unión Mundial para la Conservación de la Naturaleza (UICN), XIV, 276 p.

Bennett, G. y Molungoy, K.J. 2006. Review of experiences with ecological networks, corridors and buffer zones. Montreal, CA, Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Technical Series N°. 23. 100 p.

Bouroncle, C. 2008. Efectos de la fragmentación en la ecología reproductiva de especies y grupos funcionales del bosque húmedo tropical de la zona atlántica de Costa Rica. Tesis de maestría. Turrialba, C.R: CATIE. 99 p.

Calvo-Murillo, A.B; Castro-Navarro, K. 2012. Análisis socioeconómicos y ecológicos de los agropaisajes del cultivo del café, en el distrito Frailes, Desamparados, durante el periodo 1997 y 2003. Tesis de Licenciatura en Ciencias Geográficas con énfasis en Ordenamiento del Territorio. Universidad Nacional. 105 p.

Calvo-Obando, AJ. Determinación de índices de fragmentación y modelamiento de la conectividad en los corredores biológicos de Costa Rica. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 345 p.

Canet-Desanti, L., Finegan, B. y Herrera, B. 2011. Metodología para la evaluación de la efectividad del manejo de corredores biológicos: Caso Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 32 p.

Canet-Desanti, L., Martínez, Y. 2013. Sistematización de actividades de adaptación al cambio climático que favorecen la conectividad en los corredores biológicos en Costa Rica (Informe Final). San José.

Chazdon, L. 2008. Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands. *Science* N° 320: 1458-1460 p.

Centro Científico Tropical. 1993. Mapa de Zonas de Vida de Costa Rica. En Atlas Digital de Costa Rica, editado por E. Ortiz-Malavasi. Escuela de Ingeniería Forestal, ITCR. 1 DVD

Comité Local de Emergencia de Carrillo, Comisión Nacional de Emergencia, Dirección de Planes y Operaciones. 1993. Comité Local de Emergencia Carrillo: Plan local de emergencia. San José, CR. 4p Consultado 26 may. 2014. Disponible en: <http://www.cne.go.cr/CEDO-CRID/CEDO-CRID%20v2.0/CEDO/pdf/spa/doc5212/doc5212-2.pdf>

CONABIO. 2011. Fichas de especies prioritarias. Mono Aullador Pardo (*Alouatta palliata*) Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México D.F.

Cristobal-Azkarate, J. y Arroyo-Rodriguez, V. 2007. Diet and activity pattern of howler monkeys (*Alouatta palliata*) in Los Tuxtlas, Mexico: Effects of habitat fragmentation and implications for conservation. *American journal of Primatology* 69: 1-17.

Diaz, A. (2003). Instrumentos para la planificación integral del uso de la tierra con sistemas de información geográfica – un caso de estudio en Argentina. Disponible en: <http://edoc.hu-berlin.de/dissertationen/diaz-lacava-amalia-nahir-2003-07-16/HTML/N1754D.html>

Elkie, P., R. Rempel y A. Carr. 1999. Patch Analyst. Ontario Ministry of Natural Resources. Northwest Sci & Technology. Thunder Bay, Ontario. Consultado 02 oct. 2014. Disponible en: <http://www.cnfer.on.ca/SEP/patchanalyst/>

ERDAS, 2010. Field Guide TM. (En línea). Atlanta, US. Consultado 24 may. 2014. Disponible en [http://geospatial.intergraph.com/Libraries/Tech\\_Docs/ERDAS\\_Field\\_Guide.sflb.ashx](http://geospatial.intergraph.com/Libraries/Tech_Docs/ERDAS_Field_Guide.sflb.ashx)

Finegan, B. y Bouroncle, C. 2007. Patrones de fragmentación de los bosques de tierras bajas, su impacto en las comunidades y especies vegetales y propuestas para su mitigación. En: C.A. Harvey and J. Sáenz (editores), Evaluación y conservación en paisajes fragmentados de Mesoamérica. Santo domingo de Heredia, Costa Rica: Instituto Nacional de Biodiversidad InBIO. P 139-179

Forman, R; Godron, M. 1981. Patches and Structural Components for a Landscape Ecology. American Institute of Biological Sciences. BioScience, Vol. 31, No. 10 pp. 733-740.

Gómez-Chavarría, O. 2014 Ancho óptimo de las rutas de conectividad biológica en el subcorredor Barbilla-Destierro, Zona Central-Caribe de Costa Rica. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 48 p.

Guariguata, M; Kattan, G. 2002. Ecología y conservación de bosques neotropicales. Biogeografía de los bosques neotropicales. 1ª ed. Cartago, CR. Ediciones LUR. p 59-81.

Gurrutxaga, M. 2014: Categorización de corredores ecológicos en función de su contribución a la conectividad de la red Natura 2000. Implicaciones para la ordenación del territorio. *GeoFocus (Artículos)*, nº 14, p. 68-84. ISSN: 5578-5157.

Herrera, B. y Finegan, B. 2008. La planificación sistemática como instrumento para la conservación de la biodiversidad: Experiencias recientes y desafíos en Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente* No 54: 04-13.

Herrera-Ramírez, O. 2007. Plan de Manejo de la Cuenca del río Brasil. Área de Conservación Tempisque, Guanacaste. 66p

Holdridge-Leslie, R. 1967. Life Zone Ecology. Tropical Science Center, San José, CR.

Hudson, W. D., C. W. Ram. 1987. Correct formulation of the Kappa coefficient of agreement. *Photogramm. Eng. & Remote Sens.* 53 :42 1-422.

IUCN, 2011. IUCN red list of threatened species. Versión 2011.2. [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org). Consultado 30 Mayo 2014.

Jiménez, P. J., O. Aguirre C., E. Treviño G., E. J. Garza, S. Medellín., G. Alanis F. y E. Canales. 2002. Priorización: Grados de Riesgo y Daño en el Área y Vegetación. En: Curso de Restauración de Áreas Quemadas para ONG'S Conservacionistas. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza. Agencia para el Desarrollo Internacional de Estados Unidos. 20 p.

Laestadius, L; Maginnis, S; Minnemeyer, S; Potapov, P; Saint-Laurent, C; Sizer, N. 2011. Mapa de oportunidades de restauración del paisaje forestal. Instituto de Recursos Mundiales. *Unasylva* 238, Vol. 62, 2011/2.

Lillesand, T., Kiefer, R. 1994. Remote sensing and image interpretation. 3 ed. New York, US. John wiley & sons. 750 p.

Lozano, B, Luis A; Gómez, A; Francy, A; Valderrama, S. 2011. Estado de fragmentación de los bosques naturales en el norte del departamento del Tolima. *Revista Tumbaga*, 6, 125-140.

Mata, AV. 1999. Ecología del paisaje y requerimientos de conservación en Baja Talamanca: Caso del corredor biológico Talamanca-Caribe. Tesis de Magister Scientiae en Manejo de Vida Silvestre. Universidad Nacional de Costa Rica. 106p.

MINAE; MOPT; MAG; MEIC. 2004. Reglamento General sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). San José, CR. 108p Consultado 19 may. 2014. Disponible en: <http://costarica.eregulations.org/media/reglamento%20general%20procedimientos%20de%20evaluaci%C3%B3n%20de%20impacto%20ambiental.pdf>

Monedero, C; Gutiérrez, M. 2001. Análisis cuantitativo de los patrones espaciales de la cobertura vegetal en el geosistema montañoso tropical el Ávila. *Sociedad Venezolana de Ecología*. ECOTROPICOS 14(1):19-30.

Morera, R. 1996. Uso de habitats y plantas importantes en la alimentación de los monos congos (*Alouatta palliata*) y carablanas (*Cebus capucinus*) en el bosque tropical seco, Costa Rica. 114p. Tesis de Maestría. Universidad Nacional, Costa Rica.

Noss, RF. 1991. Landscape connectivity: different functions at different scales. In Hudson E. (ed.). *Landscape linkages and biodiversity*. Washington, DC, Island Press, 27-39.

Ortiz-Malavasi, E. 2013. Cartografía base para realizar el Inventario Nacional Forestal (INF) de Costa Rica. Informe Final Consolidado. Preparado para: Comité Director del Inventario Forestal Nacional y Programa Reducción de Emisiones de la Deforestación y Degradación de Bosques en Centroamérica y República Dominicana (REDD – CCAD – GIZ). 38 p.

Primack, R., Roíz, R., Feinsinger, P., Dirzo, R., Massardo, F. 2001. Fundamentos de conservación biológica. México DF. Fondo de Cultura Económica. 797p.

Quan-Rodas, C. 2002. Estado de fragmentación del hábitat para el desplazamiento del mono congo (*Alouatta palliata*) y sus efectos sobre la variabilidad genética en tropas de esta especie en el área de conservación Tempisque, Costa Rica. Tesis de Magister Scientiae en Manejo de Vida Silvestre. Universidad Nacional de Costa Rica. 102p.

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

Ríos-Palencia, M.M. 2011. Diseño y validación de una metodología de evaluación de conectividad funcional en paisajes en la Cordillera volcánica occidental de Guatemala y propuesta para mejoras con base en medios de vida locales. Tesis de Maestría en Manejo y Conservación de Bosque Naturales y Biodiversidad. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 159 p.

Rosales-Meda, M. 2008. Uso de tipos de cobertura vegetal por tropas del mono aullador (*Alouatta palliata*) y carablanca (*Cebus capucinus*) y conocimiento local de habitantes con respecto a estos primates en un agro paisaje del Pacífico Central, Costa Rica. XXp. Tesis de Maestría. Universidad Nacional, Costa Rica.

Ruiz-Gonzales, A; Gurrutxaga, M; Madeira, M.J; Lozano, P.J; Fernández, J.M; Gómez-Moliner, B.J. 2010. Estudio de la conectividad ecológica en la CAPV. Genética del Paisaje aplicada sobre la especie-objetivo de la Red de Corredores Ecológicos: la marta europea (*Martes martes*). Universidad del país Vasco. 53 p.

Sánchez–Azofeifa A, Daily G, Pfaff A, Busch C. 2002. Integrity and Isolation of Costa Rica's National Parkas and Biological Reserves: examining the dynamics of land-cover change. *Biological Conservation*. 109(2003): 123-135.

SINAC, 2014. Mapa de Áreas Silvestre protegidas de Costa Rica. En Atlas Digital de Costa Rica, editado por E. Ortiz-Malavasi. Escuela de Ingeniería Forestal, ITCR. 1 DVD

Silva, ME. 2003. Efectos ecológicos de la expansión urbana sobre las tierras agrícolas de la Pampa Ondulada, Buenos Aires, Argentina. Tesis MS.c. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, AR. 36 p.

Sol-Sánchez, Á., Zenteno-Ruiz, C., Zamora-Cornelio, L., Torres-Reyes, E. 2002. Modelo para la restauración ecológica de áreas alteradas. Revista de Divulgación de la División Académicas de Ciencias Biológicas-UJAT. 14 (7), 1-13.

Taylor, PD., Fahrig, L., Henein, K., Merriam, G. 1993. Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos* 68: 571-573.

Terrones, B; Bonet, A. 2014. Diseño de una red de corredores ecológicos para carnívoros forestales en la comunidad valenciana. XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica. Alicante. 12 p.

Torres-Gómez, D. 2012. Evaluación de la calidad y la composición florística de los bosques en el área núcleo de obras del proyecto hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 134 p.

Useche, D.C. 2006. Diseño de redes ecológicas de conectividad para la conservación y restauración del paisaje en Nicaragua, Centroamérica. Tesis de Maestría en Manejo y Conservación de Bosque Tropicales y Biodiversidad. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 233 p.

## **ANEXOS**

**Anexo 1.** Propuesta de taller pedagógico sobre restauración en áreas ambientalmente frágiles en el cantón Carrillo, Guanacaste, Costa Rica.

- **Objetivo:** Elaborar un documento de compromiso de la comunidad para su involucramiento en la restauración de áreas ambientalmente frágiles.

### **Primera parte:**

- Charlas de expertos (insumos) sobre la importancia de la participación de la comunidad en el tema de restauración.
- Estudios de casos relevantes de la participación de la comunidad en temas de restauración.

### **Segunda parte:**

- Pros y contras de la participación de la comunidad en temas de restauración.
- Crear un FODA sobre la restauración en el cantón Carrillo

### **Tercera parte:**

- Construcción del documento de compromiso con participación de los actores vinculantes en el tema de restauración.
- Firmas de los participantes como compromiso con en el tema de restauración.

**Anexo 2.** 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 = 5,50

b = tasa de cambio.

b= -5, 39

$\mu$  = orden Horton-Strahler

**Anexo 3.** Fórmula para la determinación del valor de la resistencia a la conectividad para la fragmentación.

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

Donde:

R= resistencia.

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

a = 4,86

b = tasa de cambio.

b= -455

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