

REVISTA NICARAGÜENSE DE BIODIVERSIDAD

N° 108.

Abril 2024

Conectividad ecológica en zonas urbanas: Prueba con
Alouatta palliata palliata (GRAY, 1849), San Juan del Sur,
Rivas, Nicaragua.

Por Joxual J. Araque Pérez & Inés Azofeifa Rojas



PUBLICACIÓN DEL MUSEO ENTOMOLÓGICO
LEÓN - - - NICARAGUA

La Revista Nicaragüense de Biodiversidad (ISSN 2413-337X) es una publicación que pretende apoyar a la divulgación de los trabajos realizados en Nicaragua en este tema. Todos los artículos que en ella se publican son sometidos a un sistema de doble arbitraje por especialistas en el tema.

The Revista Nicaragüense de Biodiversidad (ISSN 2413-337X) is a journal created to help a better divulgation of the research in this field in Nicaragua. Two independent specialists referee all published papers.

Consejo Editorial

Jean Michel Maes
Editor General
Museo Entomológico
Nicaragua

Milton Salazar
Herpetonica, Nicaragua
Editor para Herpetología.
herpingnicaragua@gmail.com

Eric P. van den Berghe
ZAMORANO, Honduras
Editor para Peces.

Liliana Chavarría
ALAS, El Jaguar
Editor para Aves.

José G. Martínez-Fonseca
Nicaragua
Editor para Mamíferos.

Oliver Komar
ZAMORANO, Honduras
Editor para Ecología.

**Estela Yamileth Aguilar
Álvarez**
ZAMORANO, Honduras
Editor para Biotecnología.

Indiana Coronado
Missouri Botanical Garden/
Herbario HULE-UNAN León
Editor para Botánica.

Foto de Portada: Mono Congo (*Alouatta palliata palliata*), San Juan del Sur (Foto © Joxual J. Araque).

Conectividad ecológica en zonas urbanas: Prueba con *Alouatta palliata palliata* (GRAY, 1849), San Juan del Sur, Rivas, Nicaragua.

Por Joxual Araque Pérez¹ & Inés Azofeifa Rojas²

RESUMEN

Se estudio la especie *Alouatta palliata palliata*, debido al peligro de extinción que se encuentra, se prevé que su población en los próximos 30 años se reducirá hasta en un 50%, sin embargo, en Centroamérica los esfuerzos por mantener el cuidado y protección de esta especie son muy pocos, se probó un modelo que propone corredores ecológicos por medio de circuitos, resistencias, costos y distancias para reducir efectos negativos de aislamiento de la especie en parches, por rutas de conexión, se realizaron transectos sobre senderos en la cobertura boscosa (manglares, bosques de ribera, bosques montanos - premontano, secundario y bordes de bosques), censando y observando las tropas de monos, en un periodo de 15 días, las observaciones se procesaron en QGIS, realizando clasificación supervisada con el plugin Dsetzaka (Random Forest) e imágenes satelitales, Planet (4.7 m x pixel), el análisis costo distancia se realizó por medio de LCP (Least Cost Path), el de Nodos y circuitos en R-Studio, creando un ráster con diferentes resistencias para establecer los patrones de movimiento de la especie, los resultados reflejan zonas optimas donde la especie puede desplazarse, alimentarse y reproducirse, a medida que el bosque se ha fragmentado las tropas de monos han recurrido a establecerse en márgenes de fuentes hídricas, la conectividad entre Nodos favorece el flujo genético y la interacción social entre tropas, además promueve una cobertura forestal saludable.

Palabras clave: Conectividad ecológica, Least Cost Path, Modelos basado en resistencias, Nodos y Circuitos, Conservación, Urbanización.

DOI: 10.5281/zenodo.11008843

¹Biólogo, USAC-UVIGER (Estudiante), Código de Investigador DIGI-(RUI-2177), Guatemala. bio.araque@gmail.com ORCID: 0000-0001-6703-2988.

²Docente-UCR (Guanacaste-Costa Rica), Master Science (M.Sc.). Desarrollo Sostenible-Universidad de Costa Rica, Investigadora de SalveMonos, Costa Rica. inefeifa@gmail.com ORCID: 0000-0002-4813-3326.

ABSTRACT

ECOLOGICAL CONNECTIVITY IN URBAN AREAS: TESTING WITH *ALOUATTA PALLIATA PALLIATA* (GRAY, 1849) IN SAN JUAN DEL SUR, RIVAS - NICARAGUA.

The species *Alouatta palliata palliata* was studied due to the danger of extinction it faces, with its population expected to decrease by up to 50% in the next 30 years. However, efforts to maintain care and protection for this species are scarce in Central America. A model was tested proposing ecological corridors through circuits, resistances, costs, and distances to reduce negative effects of species isolation in patches, through connection routes. Transects were conducted along trails in forest coverage (mangroves, riparian forests, montane forests - premontane, secondary, and forest edges), counting and observing troops of monkeys over a period of 15 days. Observations were processed in QGIS, performing supervised classification with the Dsetzaka plugin (Random Forest) and satellite images, Planet (4.7m x pixel). Cost-distance analysis was conducted using LCP (Least Cost Path), and Node and circuit analysis in R-Studio, creating a raster with different resistances to establish species movement patterns. Results reflect optimal zones where the species can move, feed, and reproduce. As the forest has fragmented, monkey troops have resorted to settling on the margins of water sources. Connectivity between Nodes promotes genetic flow and social interaction among troops, further promoting healthy forest coverage.

Keywords: Ecological connectivity, Least Cost Path, Resistance-based models, Nodes and Circuits, Conservation, Urbanization.

INTRODUCCION

La subespecie *Alouatta palliata palliata* se encuentra en peligro de extinción (EN), según los datos de la IUCN, la población de esta especie de mono se reducirá hasta un 50%, en los próximos 30 años, debido a que su hábitat se irá reduciendo hasta en 25% para los años 2048 (Cuarón *et al.*, 2020). El mono congo (*A. palliata palliata*), habita principalmente remanentes de bosque seco, plantaciones, jardines, bosques de ribera y zona protegidas (Hernández, 2016), se ha identificado la presencia de las zonas de vida de bosque húmedo premontano transición a Basal (BhP-B), bosque seco tropical (Bs-T) y bosque seco tropical transición a húmedo (BsT-H) según la clasificación de Holdridge y el Centro Científico Tropical, (Holdridge, 1967).

Los cambios en el uso de suelo y la falta de ordenamiento territorial aumentan la fragmentación de los bosques y repercuten en el aislamiento de las especies en parches. La presión ejercida por la urbanización amenaza la biodiversidad, al disminuir gradualmente los pocos parches que sirven como hábitat (Grimm *et al.*, 2008, Merckx *et al.*, 2018). Muchos de estos parches no pueden ser repoblados, por las distancias entre ellos, la resistencia del paisaje y la ecología de las especies (Gascón *et al.*, 1999).

Proponer corredores ecológicos por medio de circuitos, resistencias, costos y distancias es una buena alternativa para reducir los efectos negativos del aislamiento de las especies en parches. Se han investigado modelos de conectividad ecológica en zonas urbanas, algunas de las aproximaciones para llevarla a cabo se basan en la identificación de los costos-distancias a través de una matriz de costos resistencias (sobre ráster), utilizando algoritmos que identifican recorridos, cuantificando la distancia menor y mayor (coste acumulado), entre núcleos previamente seleccionados (Etherington y Holland, 2013; Balbi *et al.*, 2020).

Balbi *et al.* (2020) proponen que herramientas sencillas de usar como el Least Cost Path (LCP) pueden ser muy útiles para planificadores urbanos, validando en su investigación esta teoría por medio de datos esperados según los modelos que puede generar el algoritmo. El objetivo de este trabajo es ampliar el uso de herramientas sencillas para la planificación en zonas urbanas, para desplazamientos de mamíferos, basado en la ecología de la especie, con la idea de conservar tanto la fauna como el estado actual de los bosques y remanentes de bosques.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: El municipio de San Juan del Sur, pertenece al departamento de Rivas, Nicaragua (ver figura 1) cuenta con una división interna del territorio en comarcas, ubicadas en áreas cerca o fuera de las zonas urbanas, los bosques del área se clasifican, según Ortiz (2013) en las siguientes categorías:

Manglar, aquel hábitat de formación leñosa densa, arbustiva que va entre los 2 a 25 metros de altura (Hernández, 2016). **Remanente de bosque seco**, es un parche de bosque que se ha mantenido ininterrumpido durante 75-100 años (Hernández, 2016), compuesto por especies nativas, no ha sido deforestado ni modificado por actividades humanas y los procesos ecológicos no se han visto alterados, presenta bien definidos los diferentes estratos como herbáceo, sotobosque, subdosel y dosel (Ortiz, 2013).

Bosque seco secundario: bosque producto de una sucesión o regeneración boscosa durante más de 20 años (Ortiz, 2013). Se origina a partir de terrenos donde se eliminó el bosque primario y luego se dejaron sin acción humana donde se da una sucesión que comienza por especies colonizadoras y conforme pasa el tiempo da

paso a especies de bosque maduro y especies nativas. Puede contar con estratos como, herbáceo, sotobosque, subdosel y dosel (Hernández, 2016).

Se toma como referencia San Juan del Sur debido a la afluencia poblacional y turística, los recorridos y puntos para observación de *Alouatta palliata palliata* se colectaron entre la carretera que va hacia San Juan del sur desde las Delicias. Los Nodos abarcan las zonas donde existía mayor densidad de cobertura boscosa dentro del área de estudio. El Nodo 1 abarca las zonas del Carrizal, Santa Isabel, El Coyal y San Francisco, el Nodo 2 desde las Lagunillas y la Cuesta; zonas con muchas quebradas y ríos (ver figura 5).

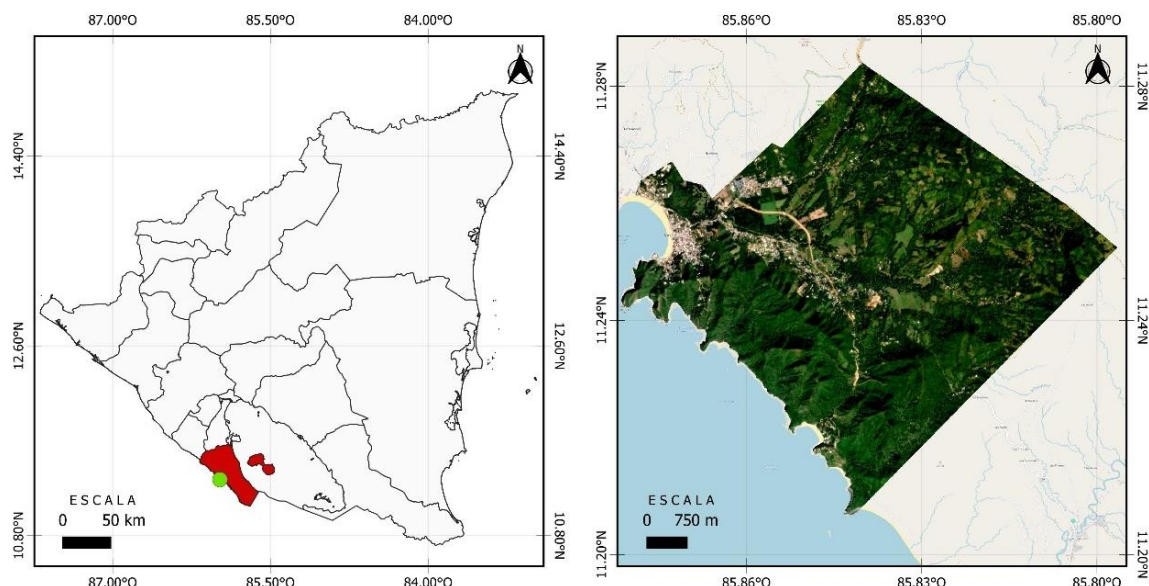


Figura 1. Localización del área estudiada. A) División política nacional de Nicaragua destacando en rojo la Ubicación del departamento Rivas (el punto verde indica ubicación del área estudiada). B) Recorte de imagen mostrando el área estudiada pertinente a San Juan del Sur.

Censo y observación de la especie: Se realizaron transectos sobre los senderos ya existentes en la cobertura boscosa que comprendía manglares, bosques de ribera, bosques montanos - premontano, secundario y bordes de bosques siguiendo parte de la metodología de (Zaldivar *et al.*, 2003, 2004). Los censos se realizaron en un periodo de tiempo de 1:00 a 5:00 pm durante 15 días, con un esfuerzo de muestreo de 75 horas. Durante el muestreo se ubicaron las tropas de monos y se registraron los puntos de observación (GPS), para su posterior análisis. los muestreos se llevaron a cabo en el mes de febrero del año 2024.

Análisis de datos en QGIS: El software QGIS- Versión 3.28 (Firenze) se utilizó para el análisis de imágenes satelitales y creación de las figuras (1 al 9), el complemento LecoS (Landscape ecology Statistics) en QGIS, permite un amplio uso de las bibliotecas científicas de Python, SciPy y Numpy (Jones *et al.*, 2001; Oliphant, 2007). Para calcular métricas paisajísticas básicas (ver Cuadros 1 y 2), se realiza el análisis de costo-distancia entre los núcleos creados y los puntos muestreados por medio de LCP (Least Cost Path). El algoritmo identifica áreas donde se facilite el movimiento de la especie según la cobertura o uso del suelo por medio de la ruta de menor costo (Braaker *et al.*, 2014, Coulon *et al.*, 2015)

Clasificación supervisada: Se descargaron imágenes satelitales de Planet con fecha 19/12/2023, la resolución del ráster es de 4.7m x pixel, se crea un ráster virtual en QGIS con las bandas R:2 G:1 B:3, para realizar clasificación supervisada y generar un mapa de cobertura del uso de suelo, se utiliza el ráster virtual (combinación de bandas) y el modelo de salida por medio de la clasificación de Random Forest, utilizando el Plugin Dsetzaka classification, en QGIS, el entrenamiento se realizó utilizando una capa shape a manera de polígono asignando valores a las clases para las regiones de interés (ROI) o de entrenamiento, es necesario crear dos campos: Class y Subclass, se validó la clasificación por medio del método Overall accuracy (todo lo expuesto en base al trabajo de Pollini, 2021).

La siguiente formula es utilizada para calcular el overall accuracy de la matriz de confusion:

$$\text{Overall accuracy} = \frac{\text{Número total de pixeles clasificados correctos}}{\text{Total de clasificaciones}} \times 100$$

Para mejorar la precisión del mapa de cobertura generado, se aplicó una herramienta de filtrado. La configuración del umbral estuvo definida por el tamaño de los pixeles del ráster y se utilizó la opción 8-Conectividad. Posteriormente se compararon los resultados con la imagen original para corregir los sesgos.

Cálculo de Least Cost Path (Costo-Distancia): En Q-gis se extraen los centroides de los Nodos creados utilizando la herramienta específica del software. Una vez definidos los centroides de cada área se clasifica en 1 y 2 luego se procede con el plugin Least Cost Path, en la caja de herramientas, para correr el proceso de Costo-Distancia se le asigna pesos a la capa Ráster que ha sido clasificada (usos de suelos) ver Cuadro 2, en aquellos de menor costo la especie se verá facilitada para su movilidad al contrario con los de mayor costo.

Cuadro.1. Características asignadas según la clasificación del uso de suelo.

Clasificación	Código	Resistencia-		Característica
		LCP - QGIS	R- Studio	
Suelo desnudo	1	30	80	Suelos sin cubierta vegetal producto de despale o construcciones, remociones de tierra o caminos, incluye daños por la ganadería extensiva.
Agua	2	100	800	Estéreos y ríos
Bosque	3	1	1	Zonas más densas de bosques en comparación a las otras áreas que parecen cubiertas de matorrales.
Bosque regeneración	4	10	10	Coberturas de bosques más ralas, poca densidad de coloración verde oscura para la clasificación.
Urbanización	5	80	950	Áreas construidas, hoteles, casas, restaurantes.
Uso de cultivos y Ganadería	6	50	450	Suelos expuestos que se usan para cultivo de pastos para ganadería o potreros sin árboles.

Para el cálculo de toda la posible red de conectividad se utilizó R-Studio, con las librerías (“LatticeExtra”; “sp”; “raster”; “gdistance”; “Tidyverse”; “sf”; “Terra”; “mapview”; “ggplot2”; “corrplot”), basándonos en la metodología de MacRae con la Teoría de circuitos y el flujo génico (McRae, 2006; McRae et al., 2016), por la característica ecológica de la especie, se crean 2 Nodos, en los cual los enlaces se realizan con respecto al centroide y los puntos de observación, calculando las distancias de menor costo entre parches seleccionados y especie.

RESULTADOS

Clasificación supervisada y creación de bases cartográficas

Cuadro 2. Matriz de confusión, las métricas son: Precisión por Clase (PA), Precisión Global (UA), Porcentaje PA-UA (%) de precisión por coberturas, Precisión General (Overall accuracy).

Clasificación	Suelo desnudo	Bosque	Bosque regeneración	Urbanización	Cultivos/Ganadería	Total
Suelo desnudo	3012	0	0	4	1	3017
Bosque	0	79407	9296	9	173	88885
Bosque regeneración	0	8970	42739	0	1321	53030
Urbanización	2	1	1	7551	0	7555
Cultivos/Ganadería	1	151	1143	9	20291	21595
Total	3015	88529	53179	7573	21786	174082
PA %	99.9005	89.696	80.3682	99.7095	93.138	Overall accuracy
UA %	99.8343	89.3368	80.594	99.9471	93.962	

Overall accuracy = **87.88 %**

El cuadro 2, presenta los resultados del análisis de precisión de cobertura para cada clases siendo, Suelo desnudo, Bosque, Bosque en regeneración, Urbanización y Cultivos/Ganadería, los valores indican la cantidad de área asignada a cada combinación de clases, los porcentajes de precisión (PA) y omisión (UA) detallan la exactitud del modelo y la proporción de la cobertura real que fue omitida en las predicciones (la coloración verde de la diagonal indica la cantidad de píxeles correctamente asignados a cada clase), con un "Overall accuracy" del 87.88%, el modelo demuestra una buena capacidad general de clasificación.

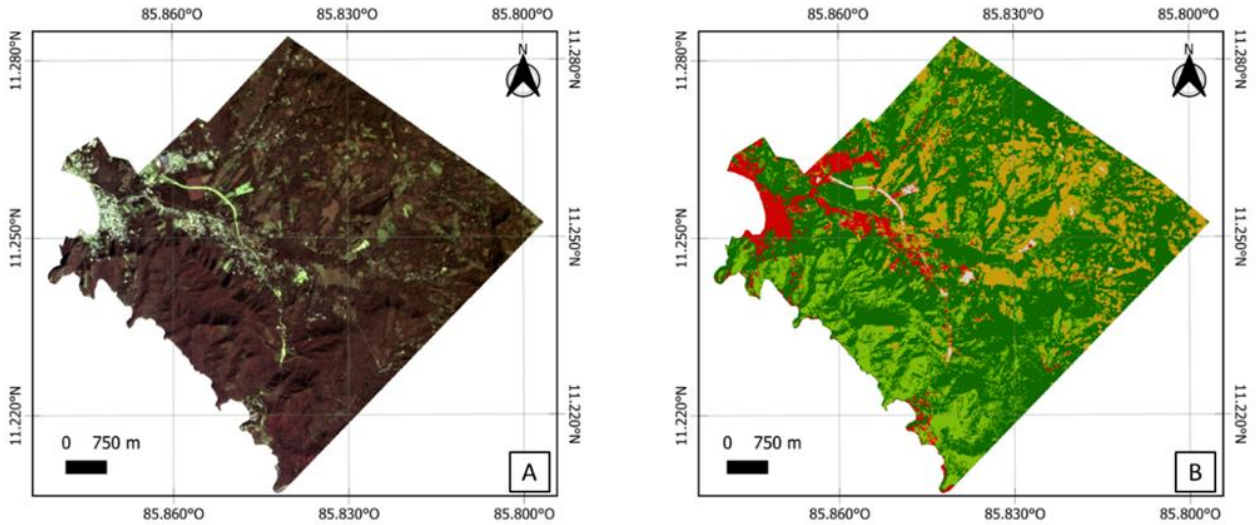


Figura 2. Mapa de cobertura del área de estudio. En A) se muestra el ráster virtual con las bandas R:2 G:1 B:3. En B) se presenta el resultado de la clasificación supervisada generada a partir del plugin Dsetzaka. La precisión global obtenida fue del 87.8%.

En términos sencillos En el cuadro 3 se indican los datos de estructura del paisaje obtenidos. Los Suelos desnudos se muestran con bajas repeticiones y están relativamente dispersos, en contraste, las zonas de Bosque y Bosque en regeneración son más complejas y distribuidas de manera más extensa (mayor densidad). Las áreas urbanizadas tienden a agruparse más en las zonas cercanas al mar; en Cultivos/Ganadería, se observa una distribución dispersa (avances) con una cierta complejidad en la estructura, esto también se puede observar en la figura 3.

En la figura 3, el grafico de barras hace referencia a la cantidad de superficie (hectáreas) ocupada por cada cobertura dentro del área estudiada. La leyenda (Least Cost Path) son los valores asignados (resistencia) para realizar el análisis, entre mayor sea la resistencia más dificultad existirá para las especies en desplazarse. Además, se incluyen las carreteras y caminos (color blanco) cuya longitud total es de 82.09 km.

Cuadro 3. Datos de estructura del paisaje analizados por el complemento Landscape ecology (LecoS) de QGIS.

ID	Class	Edge density	Number of Patches	Patch density	Euclidean Nearest-Neighbor Distance
Suelo desnudo	1	0.00790354	196	0.000184636	555.4893439
Bosque	3	0.0583769	340	0.000320286	526.3151387
Bosque-regeneración	4	0.05891385	530	0.00049927	487.2039278
urbanización	5	0.00848759	114	0.00010739	430.6707352
Cultivos/Ganadería	6	0.05562621	265	0.000249635	576.5062147

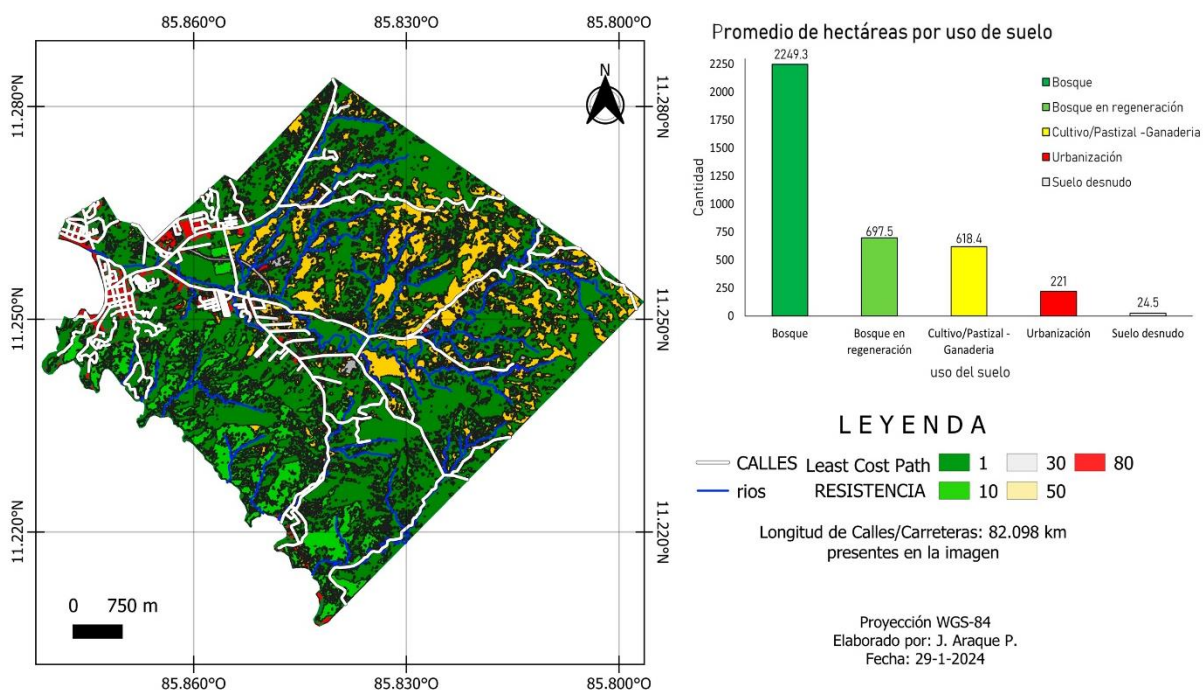


Figura 3. Clasificación del uso de suelo asignando valores de resistencia. Cálculos de promedios de hectáreas encontrado en la clasificación.

Aplicación del Modelo de costo distancia (Least Cost Path)

En base a los datos de observación de las tropas, el plugin genera una red a manera de circuitos mostrando las posibles rutas para el desplazamiento de la especie, el total de toda la red se observa en la figura 4. En general se observa que hay tropas que se acumulan cerca de las riberas de los ríos, estas zonas son las que tienen especies vegetales más saludables en comparación a las demás coberturas (Ganadería y Construcciones/Urbanizaciones).

En la figura 4, el círculo y la imagen pequeña (A) señalan el área que ha generado el algoritmo, en base a los costos y distancias según el uso actual del suelo y los pesos de cada variable (asignados a los tipos de cobertura), para determinar la distancia de recorrido entre núcleos, se hizo un cálculo general entre cada Núcleo (1 y 2) y cada punto de observación marcada, con la intención de observar los posibles traslapes entre las tropas y el recorrido que pueden realizar (ver figura 5).

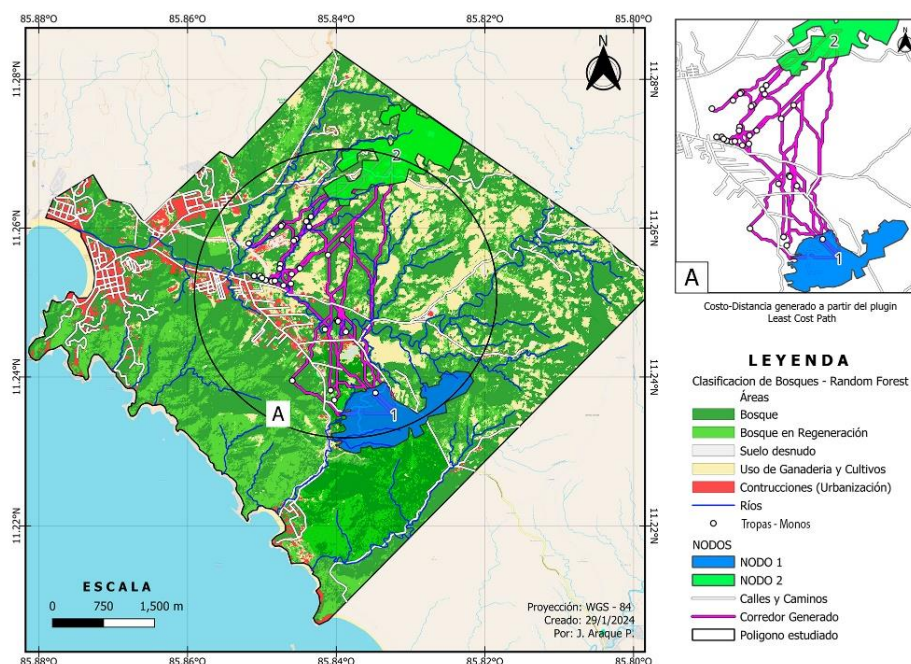


Figura 4. Circuitos generados a partir de los centroides de cada Nodo, por medio de Least Cost Path.

Como ejemplo en la figura 5, se observa en color rojo (a y b) que ambas líneas promedian los 4 km siendo la distancia más larga en recorrer con respecto a los Nodos seleccionados (1 y 2), aquellas líneas que crucen carreteras y ríos tendrán mayor importancia para el cuidado de la especie.

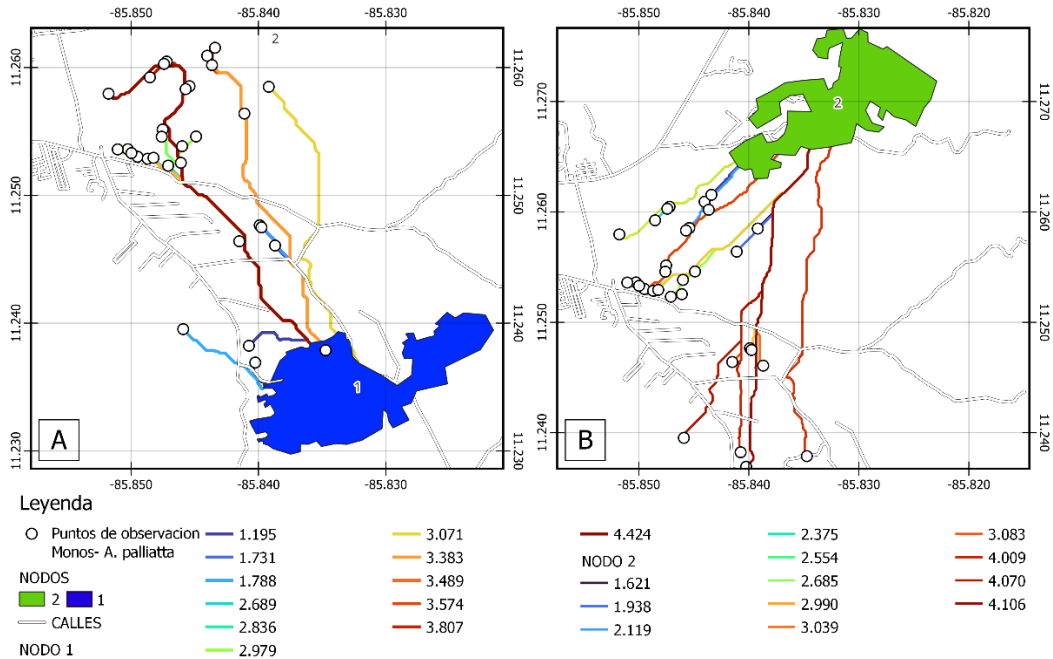


Figura 5. Costos - Distancias para cada circuito en referencia a las especies observadas, en la leyenda la coloración hace referencia a la distancia mayor y menor expresadas en kilómetros (1.1km a 4.1km)

El modelo (ver figura 4) muestra posibles escenarios de cruce, para que la especie se desplace de un nodo a otro, el área A) posee un río y poca cobertura boscosa en comparación a las otras, el B) sin ríos, pero la cobertura y doseles de las especies vegetales podrán facilitar el cruce, C) es la zona más idónea donde existe tanto especies vegetales como la circulación de un río, con forme la estructura del bosque se modifique estas áreas serán las más impactadas.

Los Nodos representan las zonas de mayor importancia para el desplazamiento de la especie, en la figura 6 (A) se determina la línea de menor costo distancia (línea azul) entre cada nodo, indicando su importancia según las variables de costo asignadas al bosque, en el inciso B) se muestran las zonas con mayor probabilidad para que la especie pueda desplazarse, reproducirse, alimentarse y descansar.

Los resultados de este análisis (ver figura 7) indican que a medida que el bosque se ha fragmentado y ha habido cambios en el uso del suelo (tierra), las tropas de monos se han desplazado y ubicado en los márgenes de fuentes hídricas como ríos y quebradas, donde todavía se mantiene bosque de ribera, así como cobertura forestal que aún se mantiene y logran mantenerse conforme pasa el tiempo (Stoner, K. 1996).

Aplicación del Modelo de Nodo y circuito.

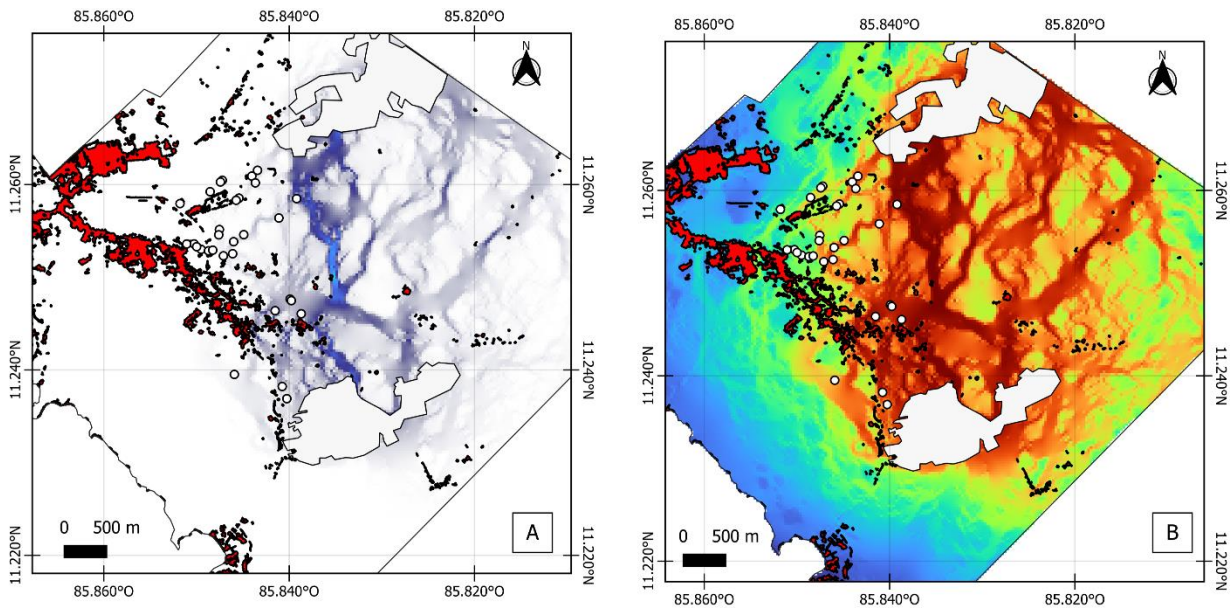


Figura 6. Conectividad resultante de las resistencias entre los usos de suelo, A) en color azul se muestra la distancia más corta y la menor resistencia encontrada, B) se marcan en coloración roja los todos los circuitos encontrados, mayor intensidad del color indica mayor probabilidad de desplazamiento.

Los Nodos representan las zonas de mayor importancia para el desplazamiento de la especie, en la Figura 6 (A), se determina la línea de menor costo distancia (línea azul) entre cada nodo, indicando su importancia según las variables de costo asignadas al bosque, en el inciso B) Se muestran las zonas con mayor probabilidad para que la especie pueda desplazarse, reproducirse, alimentarse y descansar.

Los resultados de este análisis (ver figura 7) indican que a medida que el bosque se ha fragmentado y ha habido cambios en el uso del suelo (tierra), las tropas de monos se han desplazado y ubicado en los márgenes de fuentes hídricas como ríos y quebradas, donde todavía se mantiene bosque de ribera, así como cobertura forestal que aún se mantiene y logran mantenerse conforme pasa el tiempo (Stoner, K. 1996)

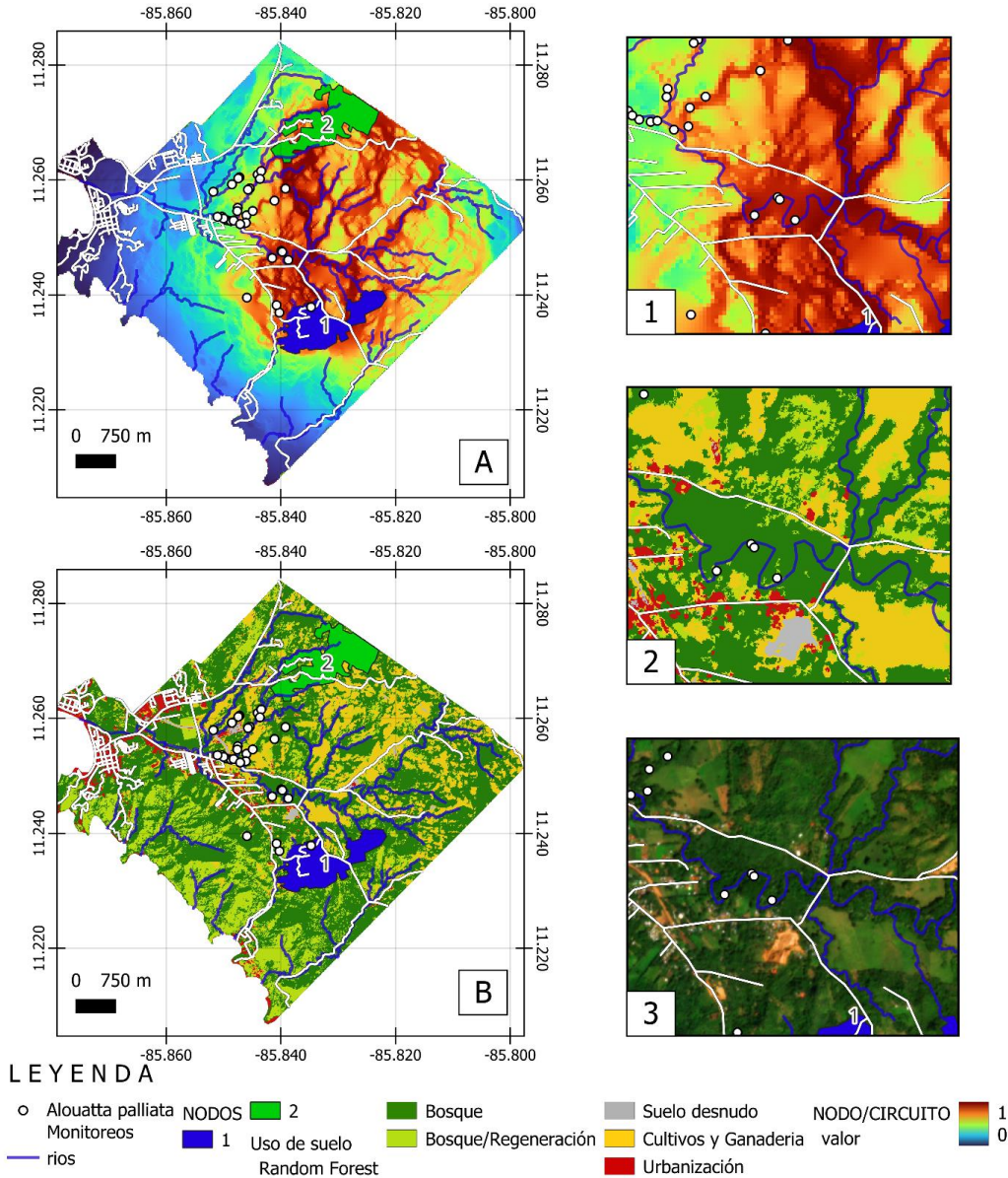


Figura 7. Red ecológica funcional, A) Conectividad resultante aplicando el modelo de nodos y circuitos incluye ríos en coloración azul y caminos/carreteras en blanco, se observan los nodos o remantes de bosque más grandes de la zona en el polígono verde y azul, las zonas de color rojo facilitan los movimientos de la especie, B) Se aprecia la clasificación y distribución de la cobertura del uso del suelo y los puntos en color blanco hacen referencia a la observación de tropas monos para el área de estudio. Las imágenes a la derecha corresponden a: (1) Mayor extensión de área para facilitar el desplazamiento, (2) Cobertura boscosa cercana a ríos y conglomerados de tropas de monos, (3) Observación general de la imagen satelital sin clasificación, ni modelos de conectividad para el área donde converge el modelo.

DISCUSIÓN

Con los modelos de asimilación de patrones y precisión de caminos o rutas acertadas, existen propuestas como la de Tang (2023). La cual crea una superficie de Ráster asignando valores y costos para encontrar caminos a gran escala, en los resultados encontramos que se requiere enlazar patrones forestales que permitan la cobertura forestal continua para el desplazamiento de la especie, en cuanto a ello (Glander y Nisbett, 1996) sugieren que *Alouatta palliata palliata*, necesita una matriz continua sin fragmentación que permita la calidad y abundancia de alimentos, al observar los modelos (Fig.4 y 6), se demuestra que coincide con lo planteado de ambos autores, el modelo cumple para estimar caminos siendo muy versátil como una herramienta práctica (Tang, 2023).

Se asimila que en los modelos presentados en las figuras 4 y 8, las áreas que requieren una mayor cobertura forestal o programas de reforestación se localizan en la zona principal desde el coyol hacia San Juan del Sur (ver figura 8, paneles A, B y C). Se sugiere la implementación de estructuras que faciliten el paso de los monos sobre la vía, así como la adopción de un programa vial que incluya señalizaciones o restricciones. Además, es importante destacar que el 75% de los accidentes que afectan a los monos se deben a la electrocución, por lo que se recomienda considerar el revestimiento de los cables de tendido eléctrico, las medidas o estructuras que se deben implementar pueden basarse en los estudios de Azofeifa (2022) y Azofeifa & Gregory (2022), que determinan los flujos génicos, comportamientos y metodologías para favorecer el cruce de *Alouatta palliata palliata* en vías o carreteras, con el fin de evitar interacciones negativas con los cambios que surgen debido al desarrollo urbano.

Los monos congo (*A. palliata palliata*) hacen uso de la cobertura forestal como hábitat para diversas actividades, incluyendo la alimentación, donde obtienen hasta un 75% de su dieta de hojas y un 25% de frutos, brotes, flores y semillas, utilizan la cobertura como refugio para descansar y pernoctar durante la noche y el día, además de utilizarla para desplazarse, realizando movimientos diarios dentro de un rango hogareño que puede alcanzar de 1.30 km a 2 km máximo (Azofeifa, 2022).

En este sentido, aunque los monos no necesariamente lleguen a desplazarse a las zonas nodo 1 y 2 debido a los rangos hogareños marcados por una territorialidad de las tropas, el mantener conectados estas zonas núcleos a través de los fragmentos proporcionarían interacciones entre las tropas que van quedando en la cobertura forestal actual y esto permitiría que se dé un flujo de genes entre individuos de la misma especie (Azofeifa, 2022). Pero además permitiría que se dé un flujo de genes de especies arbóreas que son trasladadas de un fragmento a otro por medio de sus heces y polinización que realiza esta especie como parte de las interacciones que tiene con el hábitat (Azofeifa & Gregory, 2022).

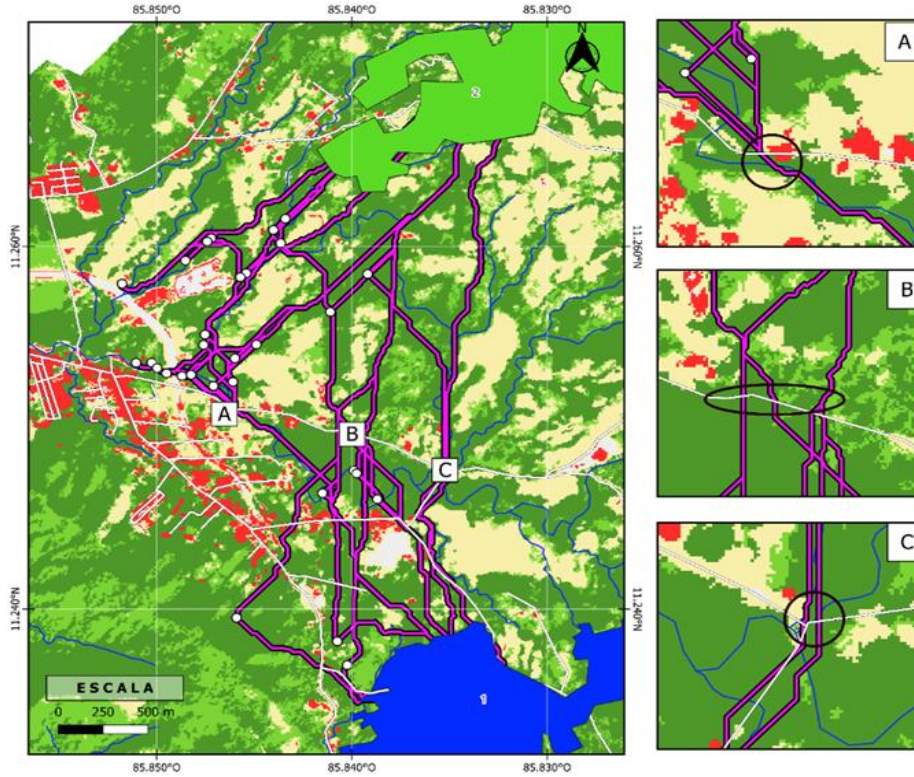


Figura 8. Conectividad resultante de Least Cost Path enlace propuesto red ecológica estructural, A) Puntos de cruces de monos cercanos a ríos, B) Mayor influencia de cruce por la existencia de bosque, C) Mayor probabilidad.

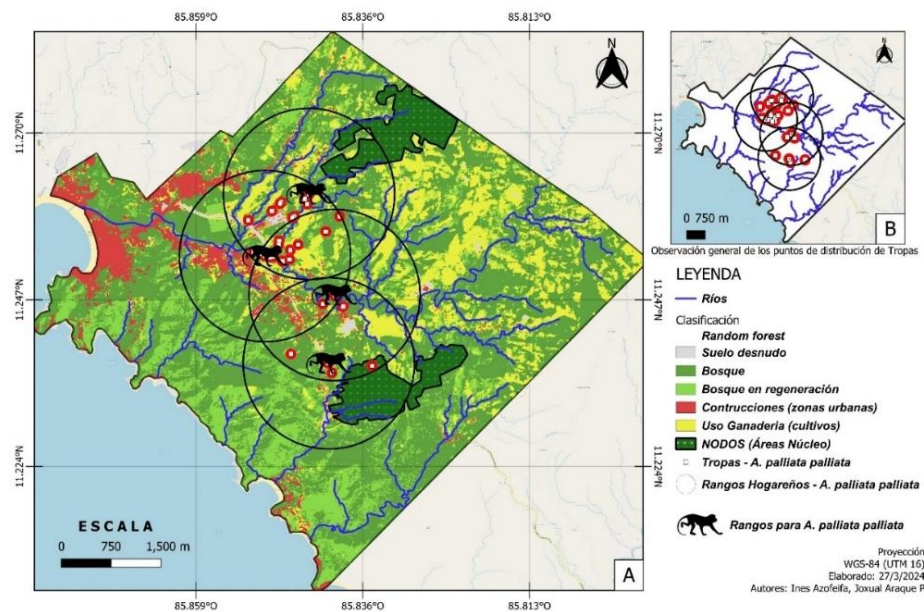


Figura 9. Rangos hogareños propuestos para un rango de 1.3 Km entre cada centroide.

La conectividad de esta cobertura (figura 9), entre un nodo y otro propicia que existan traslapes de rangos hogareños de una tropa y otra permitiendo que se mantenga interacciones sociales adecuadas para la supervivencia, procurar esta conectividad entre un nodo y otro permite además que se haga un flujo genético de especies arbórea y hacen una cobertura forestal saludable al ser heterogénea. De manera que las zonas núcleo 1 y 2 sean reservorios genéticos que provean flujo e intercambio entre las tropas, pero además dará como resultado un flujo de semillas que contribuya con diversas especies a los fragmentos boscosos que aún quedan.

CONCLUSIONES

La conectividad garantiza que aquellos organismos que viven e interactúan dentro del ecosistema cumplan sus roles como el de dispersión y polinización, manteniendo la salud del bosque. De manera que sean ellos los jardineros del bosque y que la intervención humana por medio de reforestación o arborización sea mínima. La conectividad además ayuda a que existan espacios de habitar-habitar y llegar a un equilibrio de coexistencia entre el ser humano y la vida silvestre presente.

La facilidad de utilizar algoritmos para poder determinar zonas óptimas en la distribución de la especie, permite que participemos en tomas de decisiones concretas, siendo una herramienta útil para la conservación de la biodiversidad, en estos análisis será crucial realizar estructura del paisaje, determinando las presiones que pueden estar sometidas las especies, los Nodos en este diseño se basaron en la mayor proporción de bosque en comparación al área de estudio, esperando que este modelo ayude a la mayoría de las especies de fauna y flora, mencionando que el papel de los bosques será crucial para mejorar el desarrollo de esta red creada, por lo tanto el cuidado y la protección de estas áreas tienen que ser consideradas.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Jean Michel Maes por sus enriquecedores comentarios y observaciones en esta publicación, a la Dra. María Soledad Bustos (Fundación Miguel Lillo, Argentina) por su tiempo y recomendaciones para mejorar el modelo de sistema de información geografía (SIG-basado en conectividad ecológica) presente en este documento y al Dr. Wener Armando Ochoa por sus comentarios y motivaciones.

REFERENCES

- Azofeifa Rojas, I. (2022).** Evaluación del hábitat, comportamiento y riesgo de las tropas de monos congo (*Alouatta palliata*) en búsqueda de la sostenibilidad con fines turísticos, en Playa Hermosa, Guanacaste, (*Tesis de Posgrado de la Universidad de Costa Rica (UCR)*). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25763.94244>
- Azofeifa Rojas, I., & Gregory, T. (2022).** Canopy bridges: preventing and mitigating anthropogenic impacts on mantled howler monkeys (*Alouatta palliata palliata*) in Costa Rica. *Folia Primatologica*, 93, 1-13. <https://doi.org/10.1163/14219980-20211006>
- Balbi, M.S., Petit, C., Butet E., G, Romain, A., Madec, L., & Jean-Pierre, C., et al. (2020).** Least-cost path analysis for urban greenways planning: A test with moths and birds across two habitats and two cities. *Journal of Applied Ecology*, 58, 1-12. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13800>
- Braaker, S., Moretti, M., Boesch, R., Ghazoul, J., Obrist, M. K., & Bontadina, F. (2014).** Assessing habitat connectivity for ground-dwelling animals in an urban environment. *Ecological Applications*, 24(7), 1583-1595. <https://doi.org/10.1890/13-1088.1>
- Coulon, A., Aben, J., Palmer, S. C. F., Stevens, V.M., Callens, T., Strubbe, D., Lens, L., Matthysen, E., Baguette, M., & Travis, J.M.J. (2015).** A stochastic movement simulator improves estimates of landscape connectivity. *Ecology*, 96(8), 2203-2213. <https://doi.org/10.1890/14-1690.1>
- Cuarón, A.D., Shedden, A., Rodriguez-Luna, E., de Grammont, P.C., Link, A., Williams-Guillén, K., Rosales-Meda, M., Solano, D., Méndez-Carvajal, P. & Cortés-Ortiz, L. (2020).** *Alouatta palliata* ssp. *palliata*. The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e.T43928A17978956. Consultado el 05 de Mayo del 2024. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-2.RLTS.T43928A17978956.en>
- Etherington, T., & Holland, E. (2013).** Least-cost path length versus accumulated-cost as connectivity measures. *Landscape Ecology*, 28, 1223-1229. <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9880-2>
- Gascón, C., Lovejoy, T.E., Bierregaard, R.O., Malcolm, J.R., Stouffer, P.C., Vasconcelos, H., et al. (1999).** Matrix Habitat and Species Richness in Tropical Forest Remnants. *Biological Conservation*, 91, 223-229.
- Glander, K.E., & Nisbett, R.A. (1996).** Community structure and species density in tropical forest associations in Guanacaste Province, Costa Rica. *Brenesia*, 45-46, 113-142.
- Grimm, N.B., Faeth, S.H., Golubiewski, N.E., Redman, C.L., Wu, J., Bai, X., & Briggs, J.M. (2008).** Global change and the ecology of cities. *Science*, 319(5864), 756-760. <https://doi.org/10.1126/science.1150195>

Hernández, J. (2016). Modelo para el establecimiento de corredores biológicos en áreas ambientalmente frágiles en el cantón de Carrillo, Guanacaste, Costa Rica [Tesis de Licenciatura en Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://hdl.handle.net/2238/6356>

Holdridge, L.R. (1967). Life zone ecology. San José, Costa Rica: Tropical Science Center.

Jones, E., Oliphant, T., & Peterson, P. (2001). “SciPy: Open-source scientific tools for Python.” <http://www.scipy.org/>.

McRae, B.H. (2006). Isolation by resistance. *Evolution*, 60, 1551-1561. <https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2006.tb00500.x>

McRae, B.H., Popper, K., Jones, A., Schindel, M., Buttrick, S., Hall, K.R., Unnasch, R.S., & Platt, J. (2016). Conserving Nature’s Stage: Mapping Omnidirectional Connectivity for Resilient Terrestrial Landscapes in the Pacific Northwest. *The Nature Conservancy: Portland, Oregon*; p 47 pp. <http://nature.org/resilienceNW>.

Merckx, T., Souffreau, C., Kaiser, A., Baardsen, L.F., Backeljau, T., Bonte, D., Brans, K.I., Cours, M., Dahirel, M., Debortoli, N., De Wolf, K., Engelen, J.M.T., Fontaneto, D., Gianuca, A.T., Govaert, L., Hendrickx, F., Higuti, J., Lens, L., Martens, K., ... Van Dyck, H. (2018). Body-size shifts in aquatic and terrestrial urban communities. *Nature*, 558, 113-116. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0140-0>

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.

Pollini, B. (2021). Land cover classification and validation, UN-REDD PROGRAME, Tubmanburg. Pp. 1-25.

Stoner, K. (1996). Habitat selection and seasonal patterns of activity and foraging of mantled howling monkeys (*Alouatta palliata*) in Northeastern Costa Rica. *International Journal of Primatology*, 17(1), 1-17. <https://doi.org/10.1007/BF02696156>

Tang, Q., & Dou, W. (2023). An effective method for computing the least-cost path using a multi-resolution raster cost surface model. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(287). <https://doi.org/10.3390/ijgi12070287>

Zaldivar, M., Glander, K., Rocha, O., Aguilar, G., Vargas, E., Gutiérrez, G., & Sánchez, R. (2003). Genetic Variation of Mantled Howler Monkeys (*Alouatta palliata*) from Costa Rica. *BIOTROPICA*, 35, 375-381. <http://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2003.tb0059>.

Zaldívar, M. E., Rocha, O., Glander, K.E., Aguilar, G., Huertas, A. S., Sánchez, R., & Wong, G. (2004). Distribution, ecology, life history, genetic variation, and risk of extinction of nonhuman primates from Costa Rica. *Revista De Biología Tropical*, 52(3), 679-693.

<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/15355>

La Revista Nicaragüense de Biodiversidad (ISSN 2413-337X) es una publicación de la Asociación Nicaragüense de Entomología, aperiódica, con numeración consecutiva. Publica trabajos de investigación originales e inéditos, síntesis o ensayos, notas científicas y revisiones de libros que traten sobre cualquier aspecto de la Biodiversidad de Nicaragua, aunque también se aceptan trabajos de otras partes del mundo. No tiene límites de extensión de páginas y puede incluir cuantas ilustraciones sean necesarias para el entendimiento más fácil del trabajo.

The Revista Nicaragüense de Biodiversidad (ISSN 2413-337X) is a journal of the Nicaraguan Entomology Society (Entomology Museum), published in consecutive numeration, but not periodical. RNB publishes original research, monographs, and taxonomic revisions, of any length. RNB publishes original scientific research, review articles, brief communications, and book reviews on all matters of Biodiversity in Nicaragua, but research from other countries are also considered. Color illustrations are welcome as a better way to understand the publication.

Todo manuscrito para RNB debe enviarse en versión electrónica a:
(Manuscripts must be submitted in electronic version to RNB editor):

Dr. Jean Michel Maes (Editor General, RNB)

Museo Entomológico

Morpho Residency

De hielera CELSA media cuadra arriba

21000 León, NICARAGUA

Teléfono (505) 7791-2686

jmmaes@yahoo.com

También se puede remitir a los miembros del comité editorial de la revista.

Costos de publicación y sobretiros.

La publicación de un artículo es completamente gratis.

Los autores recibirán una versión PDF de su publicación para distribución.