

Proyecto final

Curso:

Enfoques, métodos y herramientas para el análisis de la conectividad ecológica

Sylvia Rodríguez Abarca

29 agosto 2025

Introducción

La ecorregión de los Bosques Montanos de Talamanca, ubicada en las tierras altas de Costa Rica, abarcando la Cordillera de Talamanca, y en la parte oeste de Panamá, cuenta con ecosistemas de una alta relevancia para la biodiversidad, desde bosques húmedos tropicales, bosques nubosos, hasta páramos. Esta ecorregión cuenta con uno de los bosques continuos más extensos de Centroamérica, y dada la variedad de estratos altitudinales y tipos de ecosistemas cuenta con un alto grado de endemismo (Powell, Palminteri & Schipper, 2019).

A pesar de establecerse en la ecorregión el bosque contínuo más largo de Centroamérica cuenta con dificultades para mantener la conectividad ecológica, esto en ambos países en donde se encuentra ubicada. En Costa Rica los bosques en la Cordillera de Talamanca son pequeños y carecen de una conectividad planificada, lo que evita que haya una representación adecuada de los ecosistemas. La ruptura de la conectividad a lo largo de la ecorregión representa una pérdida de diversos procesos ecológicos, como el gradiente altitudinal continuo, cuya existencia permite el desplazamiento y movimientos estacionales, importante para especies con rangos de altitud limitados, como diversas aves y anfibios, dificultando procesos de adaptación al cambio climático (Liu *et al.*, 2023).

La iniciativa regional del Corredor Biológico Mesoamericano (CBM) estableció el marco base para conectar núcleos desde México a Panamá, con Talamanca como punto clave del tramo sur, se puede observar en la Figura X, mapa tomado del artículo “*The Mesoamerican Biological Corridor in Panama and Costa Rica: Integrating Bioregional Planning and Local Initiatives*”, en color amarillo una serie de corredores biológicos propuestos, sitios en los cuales para la actualidad sigue siendo necesario su abordaje.

Por lo que el objetivo del presente análisis de conectividad ecológica es ubicar las Áreas Silvestres Protegidas, tanto de Costa Rica como de Panamá, que aporten en mayor medida a la conectividad de la ecorregión de los Bosques Montanos de Talamanca, así como establecer cuales son las áreas que requieren de una intervención con el fin de lograr una conectividad funcional a lo largo de la ecorregión.

FIGURE 1. Categories of protected zones within the Mesoamerican Biological Corridor in southern Costa Rica and western Panama (Adapted from Miller et al., 1996, inside front cover).

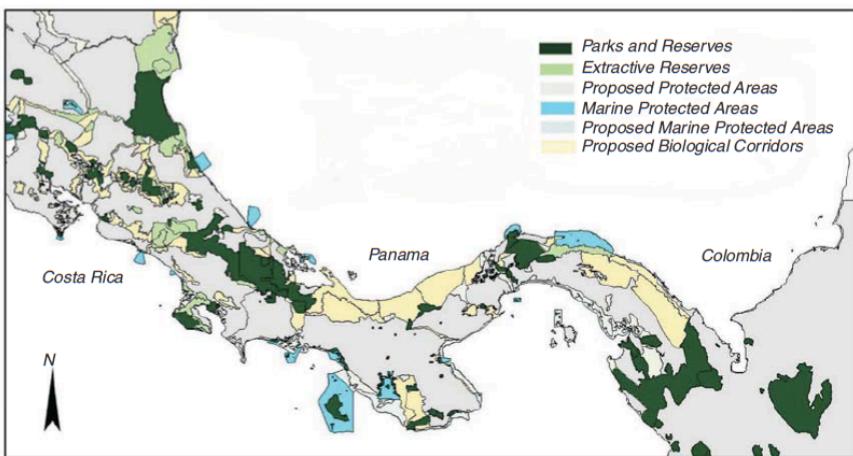


Figura 1. Mapa tomado del artículo “The Mesoamerican Biological Corridor in Panama and Costa Rica: Integrating Bioregional Planning and Local Initiatives” con el fin de visualizar las áreas Silvestres Protegidas y los corredores biológicos propuestos para propiciar la conectividad a lo largo de la ecorregión de los Bosques Montanos de Talamanca.

Metodología

Área de estudio

La ecorregión de los Bosques Montanos de Talamanca se ubica a lo largo de Costa Rica y al oeste de Panamá, con un gradiente altitudinal que va desde los 750–1.500 m hasta los 3.000 m s. n. m. aproximadamente. La zona cuenta con bosques tropicales húmedos, bosques nubosos y páramos, con características como una alta precipitación anual, el gran gradiente altitudinal y la variación en la temperatura según la ubicación, hace de la ecorregión una zona muy alta en biodiversidad, estimándose que solo en la Cordillera de Talamanca se alberga el 90% de la flora conocida para Costa Rica, el 30% de la flora para la ecorregión, así como también se estima que el 50% de la flora y de la avifauna ubicada en la región es endémica.

Esta ecorregión aún conserva gran parte de sus bosques originales, ubicándose en ella Áreas Protegidas como el Parque Nacional La Amistad, Parques Nacionales Chirripó, Braulio Carrillo, Volcán Poás y Volcán Rincón de la Vieja, en Costa Rica. Y en Panamá se encuentra EL Bosque Protector Palo Seco, Parque Nacional Volcán Barú y Reserva Forestal Fortuna, así como también el Parque Nacional Santa Fé y Parque Nacional Omar Trujillos, sin embargo, estos últimos se encuentran separados de los anteriores.

Datos utilizados

Se utilizaron las capas de información geográfica de Áreas Silvestres Protegidas y de Ecorregiones de América Latina proporcionadas en la carpeta Final1. De la capa de Ecorregiones se seleccionó la ecorregión Bosques Montanos de Talamanca, así como las Áreas Protegidas de Costa Rica y Panamá, países en dónde se ubica la ecorregión. Se utilizó dicha información para aplicar el Indicador de conexión protegida (ProtConn) (Función MK_ProtConn) (Saura *et al.*, 2017, 2018) con el objetivo de medir el grado de conectividad que existe entre las Áreas Protegidas ubicadas en la ecorregión seleccionada, conocer las Áreas Protegidas que de mayor importancia en este sentido. Además, se calculó la variación absoluta del índice ProtConn, con el objetivo de conocer la contribución de cada área protegida a la conectividad global de la ecorregión, y de esta forma conocer cuales áreas tienen una importancia más alta para mantener la conectividad de la ecorregión.

Parámetros:

Se calculó qué tan conectadas están las áreas protegidas dentro de la ecorregión seleccionada, considerando un umbral de 10 km, una probabilidad de dispersión del 50%, y también áreas protegidas dentro de un radio de 50 km fuera de la ecorregión.

Parámetro	Selección
Nodos	Áreas Protegidas de Costa Rica y Panamá
Región	Se seleccionó la ecorregión Bosques Montanos de Talamanca
area_unit	hectáreas
distance	"edge"= distancia mínima de borde a borde de los nodos. keep = 0.1 para fracción de los pares de distancias que se conservarán para cálculos.
distance_thresholds	Se consideraron 10 km como distancia máxima para decidir si hay conectividad entre los nodos.
probability	0.5: 50% de probabilidad de que ocurra movimiento/dispersión a 10 km.
transboundary	50 km de buffer externo
plot	TRUE, genera mapas/plots automáticos de la conectividad calculada.
parallel	NULL: sin paralelización.
protconn_bound	FALSE: se calcula como porcentaje del área dentro de la ecorregión seleccionada.

delta	FALSE → no se calcula
write	NULL
intern	TRUE objeto en R
classIntervals()	Dividir el conjunto de valores en clases
style	"jenks": agrupar valores minimizando la varianza interna y maximizando la externa
breaks\$brks	puntos de corte entre las clases

Resultados

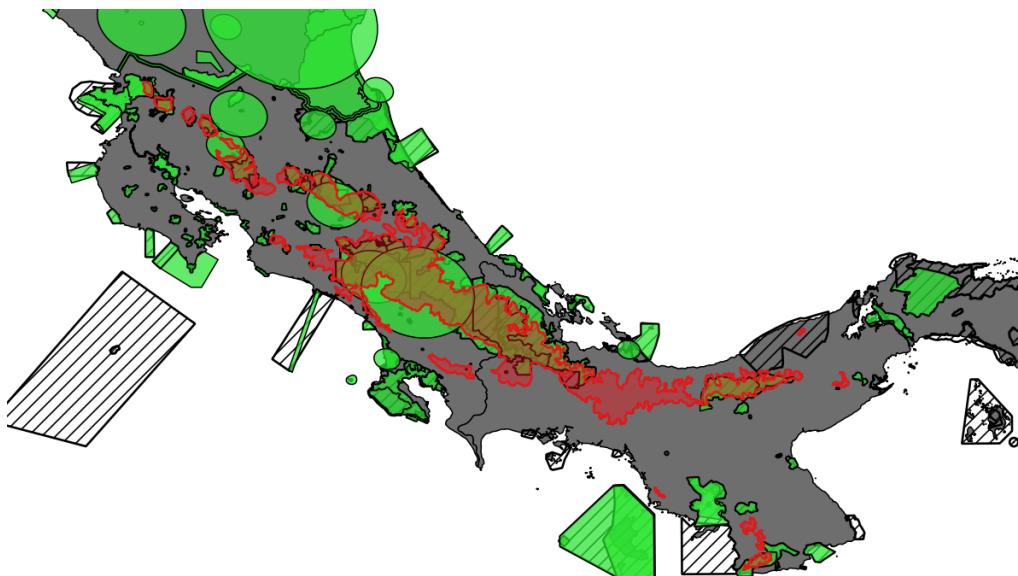


Figura 2. Mapa elaborado con las capas de información geográfica utilizadas con el fin de representar la ubicación de las Áreas Protegidas (verde: aportado en las instrucciones del curso; rayas: aportado de fuentes oficiales de cada país) con respecto a la ecorregión seleccionada (rojo).

Index	Value	ProtConn indicator	Percentage
EC(PC)	872243.25	Prot	65.6173
PC	2.8360e-01	Unprotected	34.3827
Maximum landscape attribute	1637837.48	ProtConn	53.2558
Protected surface	1074703.95	ProtUnconn	12.3615
		RelConn	81.1613

Figura 3. Resultado de la aplicación del Indicador de conexión protegida (ProtConn).

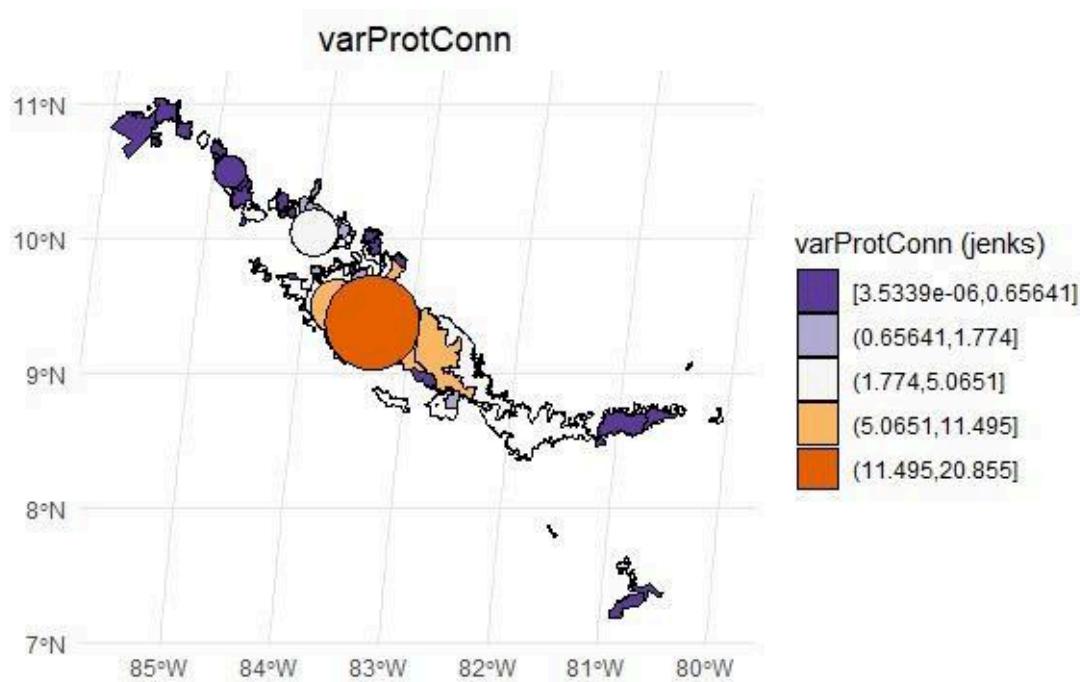


Figura 4. Mapa con las Áreas Protegidas con un valor de varProtConn más alto en color naranja (mayor aporte a la conectividad de la ecorregión), y Áreas Protegidas representadas con color morado con un calor varProtConn más bajo (menor contribución a la conectividad dentro de la ecorregión).

Discusión

Como fue mencionado en la introducción, la ecorregión de los Bosques Montanos de Talamanca cuenta con Áreas Protegidas que contribuyen en mantener un ecosistema conectado, contando con una superficie protegida de 1,074,703.95 hectáreas, cuyo núcleo clave se ubica en el Parque Internacional La Amistad (PILA), área que se encuentra en sus inmediaciones al norte con parques nacionales como el Chirripó, Tapantí y Los Quetzales, y conecta al sur con el Parque Nacional Palo Seco en Panamá, lo que genera una superficie protegida de aproximadamente 1,638,737.48, siendo el conjunto de AP mayor y mejor conectadas. En general, más de la mitad de la superficie de la ecorregión (53.26%) se encuentra dentro de APs y contribuye a la conectividad de la misma, y de esta un 81 % de la superficie protegida contribuye efectivamente a la conectividad, lo que es un aporte bastante significativo. En la ecorregión la mayor parte de la conectividad depende directamente de las APs existentes (90.9%), lo que muestra una efectividad alta en cuanto a la funcionalidad de las áreas protegidas para contribuir a la conservación de la biodiversidad del sitio.

En cuanto a las APs que no se encuentran contribuyendo a la conectividad de la ecorregión tenemos un porcentaje bajo (12.36%), cuyas áreas, por ejemplo, podrían estar representadas por el Parque Nacional Santa Fé y Parque Nacional Omar Trujillosn en Panamá, ya que estas se encuentran separadas completamente del PILA. En este país, como se puede observar en la Figura 2, existen áreas grandes de la ecorregión que no está siendo protegida bajo ninguna categoría, volviéndose importante aplicar medidas de restauración y conservación, como establecer corredores biológicos en dicha zona, para intentar conectar los parques nacionales mencionados (ubicados en color morado en la Figura 4, es decir, con poca contribución a la conectividad). La conectividad en muchos países es una limitación para la eficacia de las áreas protegidas (Saura et al., 2018), incluyendo problemáticas como la coordinación entre regiones y programas locales, lo que ha ocurrido con iniciativas como la del Corredor Biológico Mesoamericano (CBM) (Dettman, 2006).

Como se puede ver en zonas moradas en el mapa de la Figura 4, al norte de Costa Rica, encontramos zonas que tienen una pobre contribución en la conectividad de la ecorregión, zonas que también serían prioritarias para trabajar. Dentro de estas zonas se encuentran principalmente Refugio Silvestre Caño Negro, Parque Nacional Tenorio, Parque Nacional Arenal, Reservas Privadas Monteverde, Parque Nacional Guanacaste, Parque Nacional Santa Rosa y Parque Nacional Rincón de la Vieja. Lograr un mayor grado de conectividad en estas zonas contribuiría al restablecimiento del gradiente altitudinal en la

región norte del país, aportando a la conservación de especies endémicas y con requerimientos más estrictos en cuanto a esta característica (Liu *et al.*, 2023).

Por otro lado, si bien el índice utilizado nos proporciona un panorama muy alentador para la región, hay que tener en consideración que dicho análisis no contempla las barreras topográficas, lo que podría estar sobre estimando el grado de conectividad al contar la ecorregión con un gradiente altitudinal muy amplio. Esto puede sugerir que hay conectividad en dónde la biodiversidad puede no estar teniendo un desplazamiento real. Otra limitación a la que está sujeto el análisis es la generalización que hace del umbral de dispersión para la fauna en general, poniendo en el mismo umbral a especies que pueden tener una dispersión muy corta en comparación a otras con una dispersión muy amplia.

Conclusiones

La ecorregión Bosques Montanos de Talamanca cuenta con una red de áreas protegidas eficaz para la conectividad funcional sea posible, más de la mitad de la superficie las AP se tienen un impacto positivo en la conectividad. Por lo que es de suma importancia priorizar la protección y en manejo adecuado de estas áreas. Sin embargo, para las zonas en el límite norte y en el límite sur de la ecorregión es necesario enfocar esfuerzos en medidas de restauración e instaurar corredores biológicos que conecten las AP ubicadas en dichas zonas, o bien, incentivar la utilización de actividades económicas más sostenibles como la agroforestería o incentivos por conservación.

Por otro lado, es indispensable fortalecer la coordinación transfronteriza con Panamá, con el fin de gestionar la red de corredores y APs como un único sistema.

Para poder evaluar la conectividad funcional real de una región relativamente pequeña es recomendable aplicar varios índices en conjunto.

Referencias

Dettman, S. (2006). *The Mesoamerican Biological Corridor in Panama and Costa Rica: Integrating Bioregional Planning and Local Initiatives*. *Journal of Sustainable Forestry*, **22**(1–2), 15–34. https://doi.org/10.1300/J091v22n01_02

Liu, Z., Sandoval, L., Sherman, L. B., & Wilson, A. M. (2023). Vulnerability of elevation-restricted endemic birds of the Cordillera de Talamanca (Costa Rica and Panama) to climate change. *Neotropical Biodiversity*, **9**(1), 115-127.

Powell, G., Palminteri, S., & Schipper, J. (2019). *América Central: Costa Rica y el oeste de Panamá*. World Wildlife Fund. Recuperado el 18 de junio de 2019, de la ecorregión Talamancan montane forests: <https://www.worldwildlife.org/ecoregions/nt0167>

Saura, S., Bertzky, B., Bastin, L., Battistella, L., Mandričić, A., & Dubois, G. (2019). Global trends in protected area connectivity from 2010 to 2018. *Biological Conservation*, 238, 108183. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.07.028>

Material anexo

Librerías utilizadas

```
library(devtools)  
library(remote)  
library(ggplot2)  
library(sf)  
library(terra)  
library(raster)  
library(Makurhini)  
library(RColorBrewer)  
library(classInt)  
library(dplyr)  
library(classInt)  
library(rmapshaper)
```

###Carga de datos

```
APs <- read_sf("C:/Users/Sol/Desktop/Datosfinal/Areas_Protegidas.shp")  
nrow(APs)
```

```
Ecorreg <-  
read_sf("C:/Users/Sol/Desktop/Datosfinal/Ecorregiones_Biomas_Boscosos.shp")  
  
paises <- read_sf("C:/Users/Sol/Desktop/Datosfinal/paises_AL.shp")  
  
ggplot() +  
  geom_sf(data = Ecorreg, aes(color = "Study area"), fill = NA, color = "black") +  
  geom_sf(data = APs, aes(color = "Parches"), fill = "forestgreen", linewidth = 0.5) +  
  scale_color_manual(name = "", values = "black") +  
  theme_minimal() +  
  theme(axis.title.x = element_blank(),  
        axis.title.y = element_blank())  
  
paises  
  
Ecorreg
```

Selección de la ecorregión

```
Ecorreg_1 <- Ecorreg[108,]
```

Aplicación de Índice Protconn

```
test <- MK_ProtConn(nodes = APs,  
                      region = Ecorreg_1,  
                      area_unit = "ha",  
                      distance = list(type = "edge", keep = 0.1),  
                      distance_thresholds = 10000,  
                      probability = 0.5,  
                      transboundary = 50000,  
                      plot = TRUE,
```

```
parallel = NULL,  
protconn_bound = FALSE,  
delta = FALSE,  
write = NULL,  
intern = TRUE)  
  
test$Protected.Connected.Viewer.Panel'
```

Calculo de contribución de cada AP en la ecorregión

```
test3 <- MK_ProtConn(nodes = APs,  
region = Ecorreg_1,  
area_unit = "ha",  
distance = list(type= "edge", keep = 0.1),  
distance_thresholds = 10000,  
probability = 0.5,  
transboundary = 50000,  
plot = TRUE,  
parallel = NULL,  
protconn_bound = FALSE,  
delta = TRUE,  
write = NULL,  
intern = TRUE)  
  
#>  
#>  
test3$ProtConn_Delta  
#>
```

```
##### Variación absoluta

dProtConn <- test3$ProtConn_Delta


# Calcular los intervalos de Jenks para strength

breaks <- classInt::classIntervals(dProtConn$varProtConn, n = 5, style = "jenks")


# Crear una nueva variable categórica con los intervalos

dProtConn2 <- dProtConn %>%
  mutate(varProtConn_q = cut(varProtConn,
    breaks = breaks$brks,
    include.lowest = TRUE,
    dig.lab = 5))

##### Variación absoluta

dProtConn <- test3$ProtConn_Delta


# Calcular los intervalos de Jenks para strength

breaks <- classInt::classIntervals(dProtConn$varProtConn, n = 5, style = "jenks")


# Crear una nueva variable categórica con los intervalos

dProtConn2 <- dProtConn %>%
  mutate(varProtConn_q = cut(varProtConn,
    breaks = breaks$brks,
```

```
include.lowest = TRUE,  
dig.lab = 5))
```