

ANALISIS DE LA CONECTIVIDAD DE UN CONJUNTO DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS DE EL SALVADOR.

Elvert Antonio Parada Palacios

Introducción:

La conectividad es clave en la conservación, particularmente en paisajes fragmentados. La conectividad del paisaje permite el intercambio y conexiones de flujos ecológicos, y cuenta con una función potencial para la evaluación entre hábitats (Leija y Mendoza, 2021). La conectividad ecológica o funcional, que se define como la capacidad del territorio para permitir los desplazamientos de los organismos entre las teselas con recursos (San Vicente y Valencia, 2007).

Evitar la fragmentación de los hábitats y mantener la conectividad son prioridades de conservación para proteger la biodiversidad de los ecosistemas. La conectividad es esencial y fundamental para el desarrollo de poblaciones viables de cualquier especie que requieran espacios de dispersión amplios o grupos de especies de tamaño más grandes (Leija y Mendoza, 2021).

Los cambios de uso del suelo pueden afectar en gran medida a la capacidad de dispersión de las especies, dando lugar a procesos de fragmentación de las poblaciones y los consiguientes problemas para su conservación. El mantenimiento de la conectividad ecológica en el territorio se ha ido perfilando como un objetivo de las políticas de conservación de la naturaleza. Los conjuntos de espacios naturales protegidos tienden en la actualidad a constituirse legalmente como redes de conservación (Sastre y Martínez, 2002). La pregunta que orienta este trabajo: ¿Qué Áreas Naturales Protegidas tienen mayor importancia para mantener la conectividad en el paisaje? El objetivo de este trabajo es evaluar la conectividad de un conjunto de Áreas Naturales Protegidas de El Salvador.

Metodología:

El Salvador está integrado en el estrecho istmo centroamericano y limita al oeste y noroeste con Guatemala y al norte y al este con Honduras. En el sur presenta un extenso litoral que se abre al océano Pacífico, y al sureste, el golfo de Fonseca separa El Salvador de Nicaragua. La intensa transformación a la que se ha sometido el territorio a lo largo de la historia ha provocado que las superficies ocupadas por sistemas naturales (bosques) se hayan reducido ostensiblemente. En la actualidad, las superficies boscosas de mayor entidad han quedado relegadas a aquellos puntos del territorio donde la especial orografía del mismo (zonas montañosas), o los altos niveles de encharcamiento del suelo (zona de manglares) han impedido, o al menos dificultado, su transformación en usos agrarios o urbanos (Imberton et al., 2005).

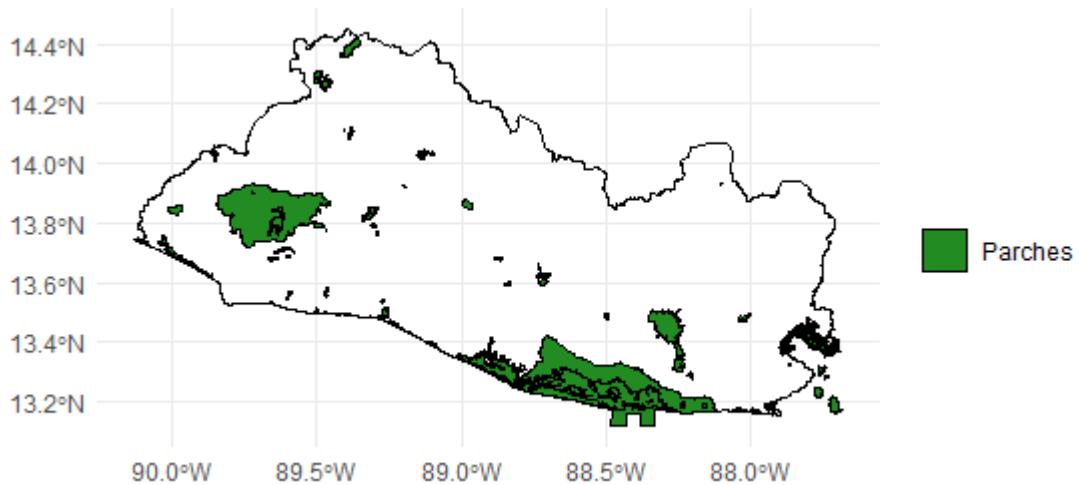


Figura 1. Áreas Naturales Protegidas para el análisis de conectividad.

El Salvador apenas cuenta con un 27% de cobertura arbórea, que incluye un 13% de ecosistemas naturales y cerca de un 9% de cafetales bajo sombra. Entre los años 2000 y 2010 se reporta que el país tuvo una pérdida de cobertura arbórea del 6.57%, equivalente a 138,288 hectáreas. En ese mismo periodo se ha calculado que el país experimentó una pérdida del 2.3% equivalente a 48,280 hectáreas. El año 2000, se estimó que el país tenía un área de bosque, incluyendo manglares, de 3,226 km² que equivalía a 15.3% (322,600 ha) del territorio y para el año 2010 el país mostró una extensión de ecosistemas naturales de 2,743 km², es decir un 13% (274,321 ha) del territorio (Medrano y Hernández, 2017).

Para evaluar la conectividad se emplearon las capas vectoriales de Áreas Naturales Protegidas y mapa base país, que delimita el paisaje de estudio. La conectividad se realizó calculando el Índice de probabilidad de conectividad. El Índice de probabilidad de conectividad se calcula sobre grafos ponderados y un modelo probabilístico de conectividad. El índice PC en concreto se define como la probabilidad de que dos puntos ubicados al azar dentro del paisaje queden situados en zonas de hábitat interconectadas entre sí, para un conjunto de teselas de hábitat y de enlaces (conexiones) entre ellas existente en el paisaje (Saura y Pascual-Hortal 2007).

$$PC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j p_{ij}^*}{A_L^2}$$

Este índice se ha desarrollado y es especialmente adecuado para la identificación y priorización de los elementos del paisaje (parches de hábitat y elementos conectores) por su contribución a la conectividad y disponibilidad de hábitat en el paisaje, lo que se puede obtener calculando el porcentaje de variación en el índice PC (dPC_k) causado por la eliminación del paisaje de cada uno de esos elementos individuales. Es la importancia del elemento k para la priorización e identificación de zonas de hábitat críticas para el mantenimiento de la conectividad, de acuerdo a la siguiente expresión.

$$dPC_k = 100 \cdot \frac{PC - PC_{elim,k}}{PC}$$

El análisis de conectividad se realizara para un conjunto de 68 parches para la región de El Salvador. Se utilizo una distancia de dispersión de 10 km entre borde y manteniendo el 0.1 de los vértices de los parches, con una probabilidad de conectividad de 0.5. El área fue el atributo utilizado para cada parche como valor de importancia para realizar los cálculos de conectividad.

Resultados:

La conectividad del paisaje tiene un valor de EC (PC) $1.702313e+05$, el área potencialmente conectada es baja. Los valores altos (verde) indican mayor importancia y valores bajos (menor importancia) en rojo.

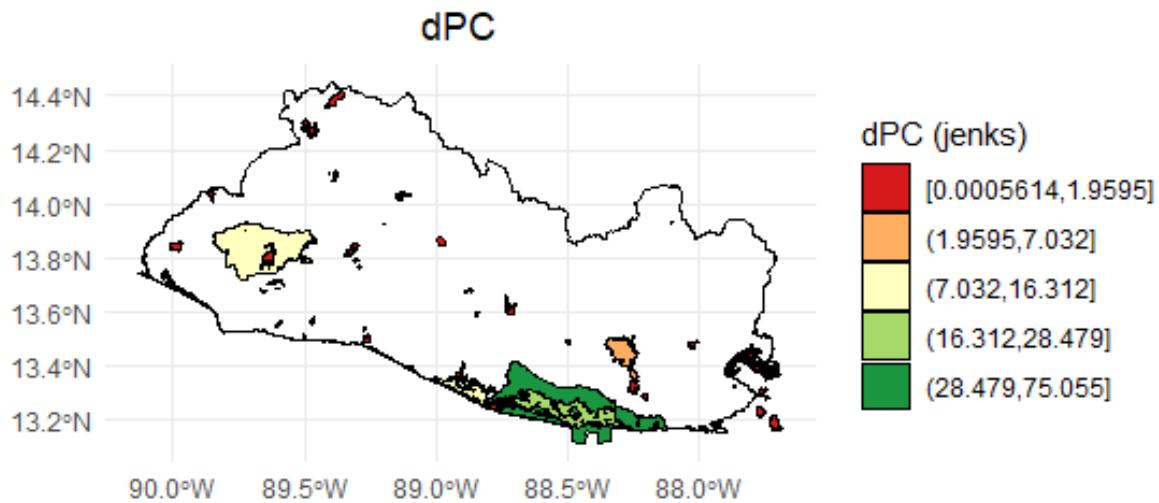


Figura 2. Conectividad a nivel de paisaje.

La conectividad a nivel de parche para la fracción intra parche muestran que la Reserva de la Biosfera Xirualtique-Jiquilisco y Apaneca-Illamatepec tienen mayor importancia para mantener la conectividad del paisaje, con mayor peso la primera (Figura 2). Así mismo, la conectividad tipo flujo de dispersión (Figura 3). Los manglares del Estero de Jaltepeque tiene mayor relevancia como elemento conector (Figura 4).

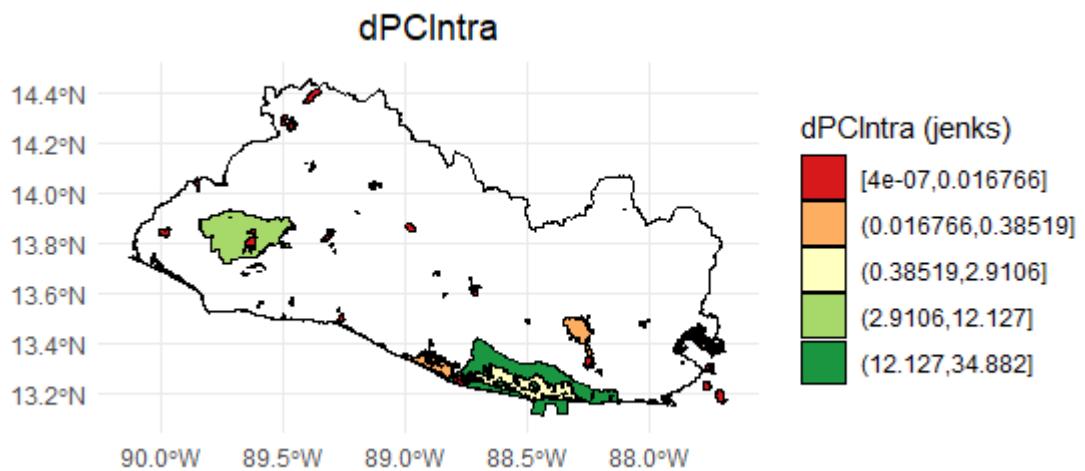


Figura 2. Valor de conectividad intraparche.

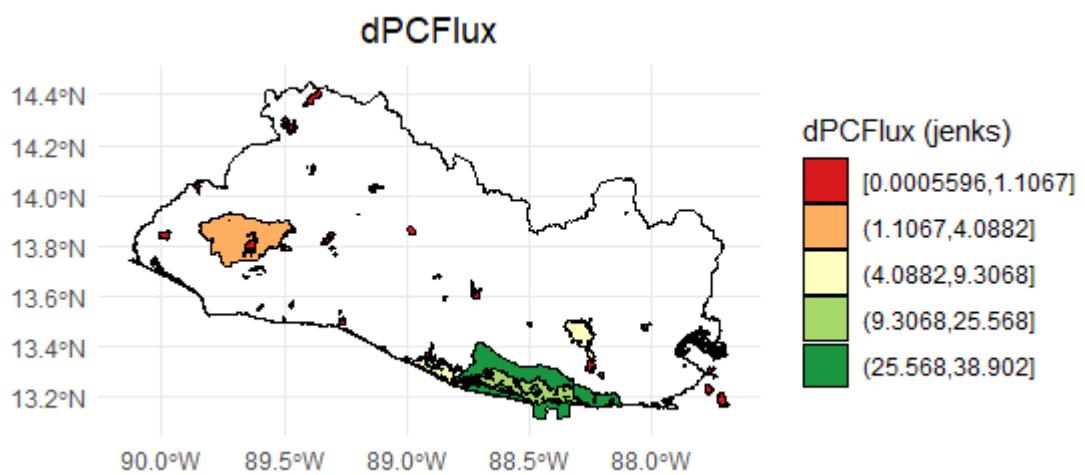


Figura 3. Valor de conectividad por flujo de dispersión.

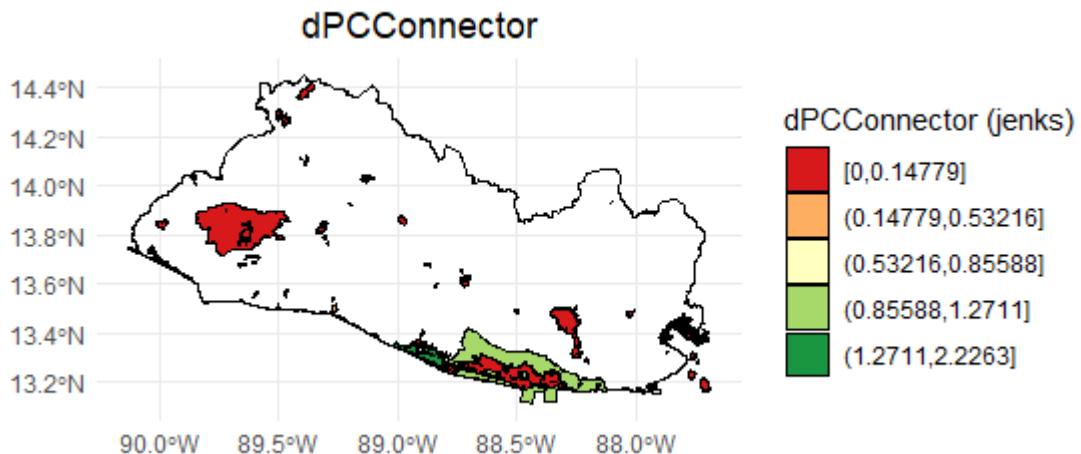


Figura 4. Valor de conectividad de parches puentes.

Discusión: interpretación ecológica de los resultados, relación con la literatura y con estudios previos y limitaciones del análisis y posibles mejoras.

El ECA obtenido a escala de paisaje refleja los problemas de conectividad del conjunto de las Áreas Naturales Protegidas utilizadas, una condición que podría afectar la viabilidad poblacional de las especies que en ellas habitan. La interacción de las especies es un principio esencial para su conservación. El manejo de las áreas protegidas establecidas para la protección de las especies nativas y los ecosistemas en que habitan se sustenta sobre la interacción de las especies con el ecosistema y de las especies entre sí. En un medio fragmentado, como los que actualmente imperan en gran parte del planeta, la conectividad del hábitat y de los ecosistemas es una de las características del paisaje de mayor importancia para la persistencia de poblaciones viables de especies y para la dispersión y colonización de parches de hábitat no ocupados (Matteucci, 2010). Contrario a lo espero, los manglares del Estero de Jaltepeque cuentan con el mayor valor como elemento conector, a pesar de tener un área de menor tamaño. Sin embargo, su cercanía a la Reserva de la Biosfera Xiriualtique-Jiquilisco el Área Natural Protegida de mayor tamaño le permite mantener a nivel de paisaje un valor significativo de conectividad. Diferente a otros estudios en donde los parches grandes muestran índices de conectividad de mayor valor (Aguilar et al., 2014).

Para futuros estudios de conectividad de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) se debe incorporar todas las ANP declaradas y en proceso de declaratoria. El conjunto de datos utilizados en este trabajo solo incluye un número reducido de áreas.

Conclusión:

El paisaje muestra escasa área potencialmente conectada y las Reserva de la Biosfera como parches de mayor importancia para los tipos de conectividad intra parche y flujo de dispersión. Los manglares del Estero de Jaltepeque es el parche con mayor importancia para mantener la conectividad. El paisaje analizado muestra altos valores de perdida de conectividad que podría limitar el desplazamiento de los organismos a largo plazo. Así mismo, el conjunto de datos utilizados contiene ANP de menor tamaño que tienen muy poco aporte a la conectividad global y sus fracciones. Por lo tanto, se debe implementar estrategias que permitan aumentar el tamaño de las Áreas Naturales Protegidas para mejorar los valores de los índices de conectividad.

Referencias:

- Aguilar, Y., Fernández, M. M. A., Barrera, L. C., del Amo Rodríguez, S., Gómez, M. D. L. S., & Martínez-Carrera, D. (2014). Impacto de las unidades de selva manejada tradicionalmente en la conectividad del paisaje de la Sierra de Los Tuxtlas, México. *Revista de Biología Tropical*, 62(3), 1099-1109.
- Fragmentación y conectividad del bosque en El Salvador: Aplicación al Corredor Biológico Imbernon, J., Villacorta Monzón, J. L., Zelaya Flores, C. L., and Valle Aguirre, A. A. (2005).
- Leija, E. G., & Mendoza, M. E. (2021). Estudios de conectividad del paisaje en América Latina: retos de investigación. *Madera y bosques*, 27(1). e2712032. doi: 10.21829/myb.2021.2712032
- Matteucci, S. D. (2010). La conectividad del hábitat y nuestras áreas protegidas. *Fronteras* 9 (9), 1-11.
- Medrano, B., and Hernández, J. (2017). Estado actual de las Áreas Naturales Protegidas y Pautas para la Gestión de la Biodiversidad en El Salvador. San Salvador, El Salvador: Fundación Friedrich Ebert Mesoamericano. *Bois Et Forêts Des Tropiques*, 286(4), 15–28.
- San Vicente, M. G., & Valencia, P. J. L. (2007). Criterios para contemplar la conectividad del paisaje en la planificación territorial y sectorial. *Investigaciones Geográficas (Esp)*, (44), 75-88.
- Sastre, P., de Lucio, J. V., & Martínez, C. (2002). Modelos de conectividad del paisaje a distintas escalas. Ejemplos de aplicación en la Comunidad de Madrid. *Ecosistemas*, 11(2).
- Saura, S., & Pascual-Hortal, L. (2007). A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape and urban planning*, 83(2-3), 91-103.

Material anexo: Script de R (.R o .Rmd) con el análisis completo y comentado.

```
## Cargar paquetería ##  
library(Makurhini)  
library(sf)  
library(ggplot2)  
library(RColorBrewer)  
library(classInt)  
library(dplyr)  
  
## Cargar capas ""  
habitat_nodes <- read_sf("anp.shp")  
nrow(habitat_nodes)  
paisaje <- read_sf("base_wgs84.shp")  
  
## Visualizar parches y paisaje de estudio ##  
  
ggplot() +  
  geom_sf(data = paisaje, aes(color = "Study area"), fill = NA, color = "black") +  
  geom_sf(data = habitat_nodes, 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())  
  
## Cálcular el índice potencial de conectividad a nivel de paisaje ##  
  
PC <- MK_dPCIIC(nodes = habitat_nodes,  
                  attribute = NULL,
```

```
area_unit = "ha",
distance = list(type = "edge", keep = 0.1),
LA = NULL,
onlyoverall = TRUE,
metric = "PC",
probability = 0.5,
distance_thresholds = 10000,
intern = TRUE) #10 km
```

PC

```
## Convertir valores de area a hectareas ##
area_paisaje <- st_area(paisaje)
area_paisaje <- unit_convert(area_paisaje, "m2", "ha")
```

```
## Cálcular fracciones de conectivida ##
```

```
PC <- MK_dPCIIC(nodes = habitat_nodes,
attribute = NULL,
area_unit = "ha",
distance = list(type = "edge", keep = 0.1),
LA = area_paisaje,
onlyoverall = FALSE,
metric = "PC",
probability = 0.5,
distance_thresholds = 10000,
intern = TRUE) #10 km
```

PC

```

##### Visualizar las fracciones de conectividad ####

# Calcular los intervalos de Jenks para strength
breaks <- classInt::classIntervals(PC$dPC, n = 5, style = "jenks")

# Crear una nueva variable categórica con los intervalos
PC <- PC %>%
  mutate(dPC_q = cut(dPC,
    breaks = breaks$brks,
    include.lowest = TRUE,
    dig.lab = 5))

# Graficar en ggplot2 usando las clases Jenks
ggplot() +
  geom_sf(data = paisaje, fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = PC, aes(fill = dPC_q), color = "black", size = 0.1) +
  scale_fill_brewer(palette = "RdYIGn", direction = 1, name = "dPC (jenks)") +
  theme_minimal() +
  labs(
    title = "dPC",
    fill = "dPC"
  ) +
  theme(
    legend.position = "right",
    plot.title = element_text(hjust = 0.5)
  )

# Calcular los intervalos de Jenks para strength
breaks <- classInt::classIntervals(PC$dPCintra, n = 5, style = "jenks")

```

```

# Crear una nueva variable categórica con los intervalos
PC <- PC %>%
  mutate(dPC_q = cut(dPCintra,
                     breaks = breaks$brks,
                     include.lowest = TRUE,
                     dig.lab = 5))

# Graficar en ggplot2 usando las clases Jenks
ggplot() +
  geom_sf(data = paisaje, fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = PC, aes(fill = dPC_q), color = "black", size = 0.1) +
  scale_fill_brewer(palette = "RdYIGn", direction = 1, name = "dPCIntra (jenks)") +
  theme_minimal() +
  labs(
    title = "dPCIntra",
    fill = "dPCIntra"
  ) +
  theme(
    legend.position = "right",
    plot.title = element_text(hjust = 0.5)
  )

# Calcular los intervalos de Jenks para strength
breaks <- classInt::classIntervals(PC$dPCflux, n = 5, style = "jenks")

# Crear una nueva variable categórica con los intervalos
PC <- PC %>%
  mutate(dPC_q = cut(dPCflux,
                     breaks = breaks$brks,
                     include.lowest = TRUE,

```

```

dig.lab = 5))

# Graficar en ggplot2 usando las clases Jenks
ggplot() +
  geom_sf(data = paisaje, fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = PC, aes(fill = dPC_q), color = "black", size = 0.1) +
  scale_fill_brewer(palette = "RdYIGn", direction = 1, name = "dPCFlux (jenks)") +
  theme_minimal() +
  labs(
    title = "dPCFlux",
    fill = "dPCFlux"
  ) +
  theme(
    legend.position = "right",
    plot.title = element_text(hjust = 0.5)
  )

# Calcular los intervalos de Jenks para strength
breaks <- classInt::classIntervals(PC$dPCconnector, n = 5, style = "jenks")

# Crear una nueva variable categórica con los intervalos
PC <- PC %>%
  mutate(dPC_q = cut(dPCconnector,
                     breaks = breaks$brks,
                     include.lowest = TRUE,
                     dig.lab = 5))

# Graficar en ggplot2 usando las clases Jenks
ggplot() +
  geom_sf(data = paisaje, fill = NA, color = "black") +

```

```
geom_sf(data = PC, aes(fill = dPC_q), color = "black", size = 0.1) +  
scale_fill_brewer(palette = "RdYIGn", direction = 1, name = "dPCConnector (jenks)") +  
theme_minimal() +  
labs(  
  title = "dPCConnector",  
  fill = "dPCConnector"  
) +  
theme(  
  legend.position = "right",  
  plot.title = element_text(hjust = 0.5)  
)
```