

## **Conectividad en el Parque Nacional da Serra da Capivara (Piauí, Brasil)**

**RED BIOMA**

### **Curso: Enfoques, métodos y herramientas para el análisis de la conectividad ecológica**

Este documento presenta el trabajo final del curso *Enfoques, métodos y herramientas para el análisis de la conectividad ecológica*, para aplicar los conocimientos adquiridos sobre índices de conectividad y fragmentación en un caso de estudio real, utilizando el paquete de R Makurhini.

**Hugo Alexander Benjumea Ochoa**

Ingeniero Forestal

Tarjeta Profesional: 05266 - 403980 ANT

**Medellín, Antioquia**

**2025**

# Introducción

La Caatinga, bioma característico del noreste de Brasil, constituye uno de los ecosistemas más singulares de Sudamérica, dominado por bosques secos estacionales y matorrales adaptados a condiciones semiáridas. En este paisaje, el Parque Nacional da Serra da Capivara (Piauí) resguarda más de 129,000 ha de cobertura natural, con una notable riqueza cultural y biológica que le ha valido el reconocimiento como Patrimonio Mundial de la UNESCO (2023). No obstante, la matriz que rodea al área protegida se encuentra altamente transformada por actividades agropecuarias y asentamientos humanos, lo que amenaza la conectividad ecológica y el movimiento de especies de gran tamaño.

La conectividad del hábitat resulta crucial para la supervivencia de especies de amplia área de vida, como los felinos (*Panthera onca*, *Puma concolor*) y el tapir amazónico (*Tapirus terrestris*) (ICMBio, 2019). Este último, históricamente extirpado del noreste brasileño, ha mostrado registros recientes de recolonización en la Caatinga, lo que abre la posibilidad de que poblaciones dispersantes utilicen corredores asociados a bosques riparios y parches de vegetación remanente. Evaluar la disponibilidad y distribución de estos parches dentro y alrededor del Parque se convierte, por tanto, en una herramienta esencial para orientar estrategias de conservación y restauración.

En este estudio se propone caracterizar los parches de bosque y su conectividad en un buffer de 20 km alrededor del Parque Nacional da Serra da Capivara (UNEP-WCMC, & IUCN, 2025), usando datos de cobertura arbórea (Potapov et al., 2021). Se plantea la siguiente pregunta de investigación:

- ¿En qué medida los parches de bosque dentro del parque y en su zona de influencia inmediata mantienen la conectividad necesaria para sustentar movimientos de fauna de gran porte como el tapir y los grandes felinos?

Como hipótesis de trabajo, se plantea que, aunque el Parque mantiene un núcleo bien conservado de hábitat, los parches externos presentan aislamiento moderado a alto, lo que limita el flujo de especies y hace necesaria la identificación de corredores estratégicos para la conservación en el paisaje de la Caatinga.

# Metodología

## 1. Área de estudio

El análisis se desarrolló en el Parque Nacional da Serra da Capivara y un área de influencia definida por un buffer de 20 km alrededor de sus límites. El parque se localiza en el estado de Piauí, noreste de Brasil, dentro del bioma Caatinga. Esta región se caracteriza por un clima semiárido, con vegetación predominante de bosques secos estacionales, sabanas y matorrales xerofíticos. El área protegida cubre aproximadamente 129.000 ha, rodeada por una matriz de uso agropecuario y asentamientos humanos que generan procesos de fragmentación del hábitat.

## 2. Datos de cobertura

Se utilizó la base de datos global de cobertura arbórea de Potapov et al. (2021), que provee información espacial sobre extensión de bosque a 30 m de resolución. A partir de este insumo se generaron mapas binarios de bosque/no bosque para el área de estudio.

### **3. Índices de fragmentación**

Se calcularon métricas estructurales que permiten describir la configuración espacial de los fragmentos, entre ellas: número total de fragmentos, tamaño medio, densidad de fragmentos y densidad de borde. Adicionalmente, se incorporaron índices de nivel de paisaje que reflejan características clave de la fragmentación, tales como:

- **Porcentaje de área núcleo (% Core Area):** indicador de la proporción de hábitat con condiciones internas menos influenciadas por efectos de borde.
- **Índice de forma (Shape Index):** mide la complejidad de la geometría de los fragmentos, diferenciando entre parches compactos e irregulares.
- **MESH (Mean Effective Mesh Size):** estima el grado de conectividad estructural del paisaje considerando el tamaño de las áreas continuas disponibles.

### **4. Índices de conectividad**

Para evaluar conectividad funcional se seleccionaron dos índices basados en teoría de grafos:

- **IIC (Integral Index of Connectivity):** mide la proporción de conexiones existentes entre parches en relación con el máximo posible en el paisaje. Se evaluaron sus fracciones:
  - **dIIC:** mide la contribución relativa de cada parche al valor total del IIC.
  - **dIICintra:** importancia del área interna de cada parche.
  - **dIICflux:** importancia de un parche como fuente y destino de flujos potenciales.
  - **dIICconnector:** rol de un parche como conector o “puente” entre otros.
  - **dIICcrest:** contribución residual de un parche.
- **PC (Probability of Connectivity):** mide la probabilidad de que dos puntos aleatorios en el paisaje estén conectados a través de parches y conexiones funcionales. Se analizaron sus fracciones:
  - **dPC:** mide la contribución de cada parche al valor total del PC.
  - **dPCintra:** área interna del parche.
  - **dPCflux:** conectividad funcional como fuente y destino.
  - **dPCconnector:** rol como conector en la red.
  - **dPCrest:** contribución residual.

### **Justificación de la elección**

Estos índices se seleccionaron porque integran tanto la cantidad de hábitat como la calidad de las conexiones estructurales, permitiendo identificar parches clave para la conectividad ecológica y evaluar el papel de cada uno en la red del paisaje.

### **5. Parámetros y configuraciones aplicadas**

- **Escenario de análisis:** se consideró tanto el parque como el buffer de 20 km para evaluar la conectividad local y regional.
- **Umbral de distancia (d):** se estableció un rango de distancias máximas de dispersión de 10 km, para modelar la conectividad potencial de especies de gran porte como tapir y grandes felinos.
- **Distancia de borde:** se configuró una distancia de borde de 500 m con el fin de excluir los efectos de borde en la estimación del área núcleo de los fragmentos (Haddad et al. 2015).

- **Área mínima de nodo:** Área mínima del nodo utilizada para calcular el número de nodos con un área menor a la proporcionada. Por defecto igual a 100 km<sup>2</sup> (Haddad et al. 2015).

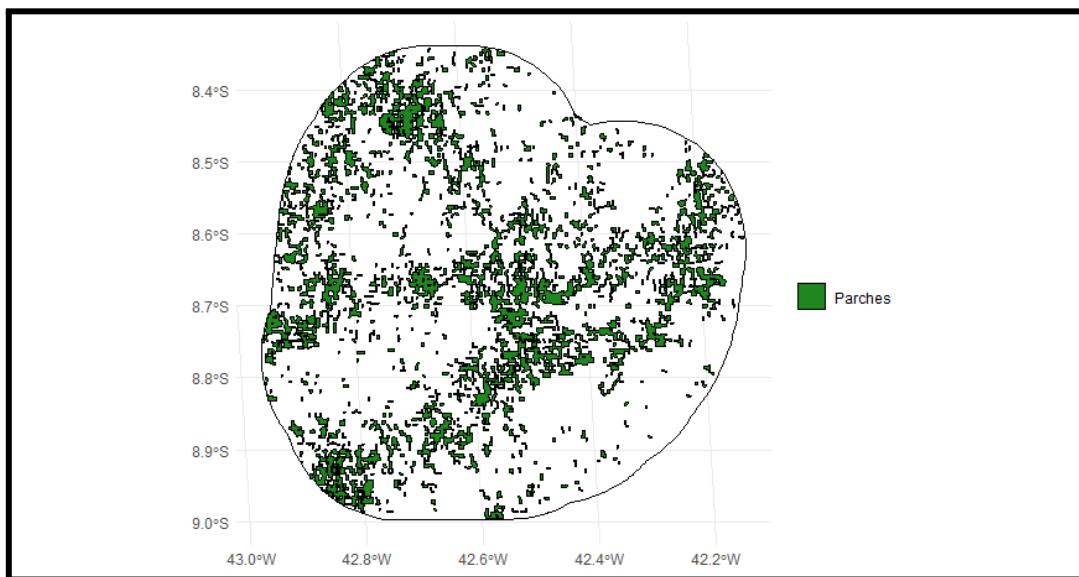
## Resultados

**Tabla 1.** Métricas de fragmentación a nivel de paisaje calculadas para el área de estudio.

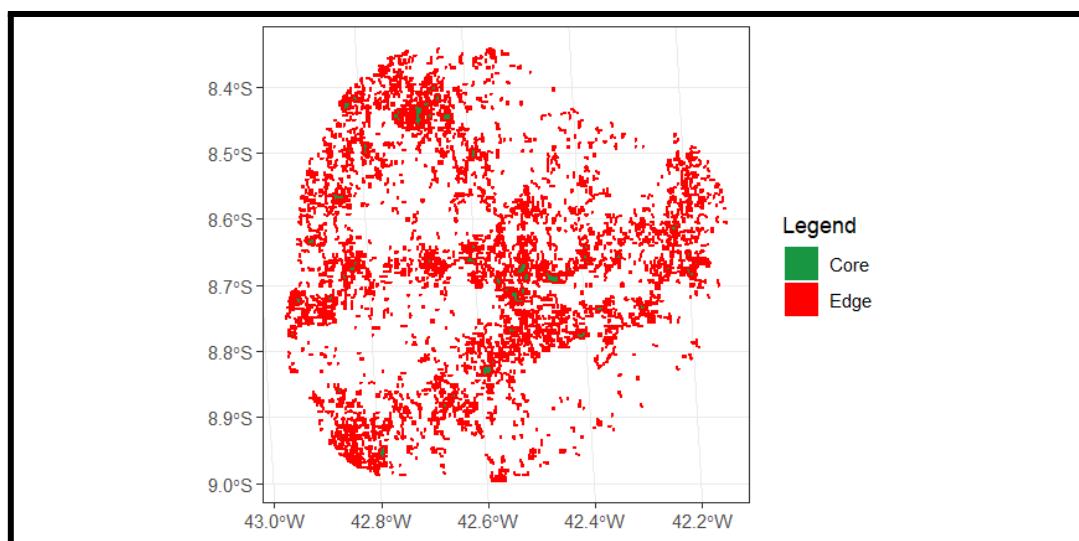
Metric	Value
Patch area (ha)	86670,13
Number of patches	683
Size (mean)	126,90
Patches < minimum patch area	582
Patches < minimum patch area (%)	20,19
Total edge	4692,45
Edge density	0,0541
Patch density	0,1292
Total Core Area (ha)	1073,91
Cority	0,0337
Shape Index (mean)	0,1588
FRAC (mean)	0,5811
MESH (ha)	524,87

**MESH (Mean Effective Mesh Size):** 524.87 ha, lo cual corresponde a un 99.9% de área no conectada

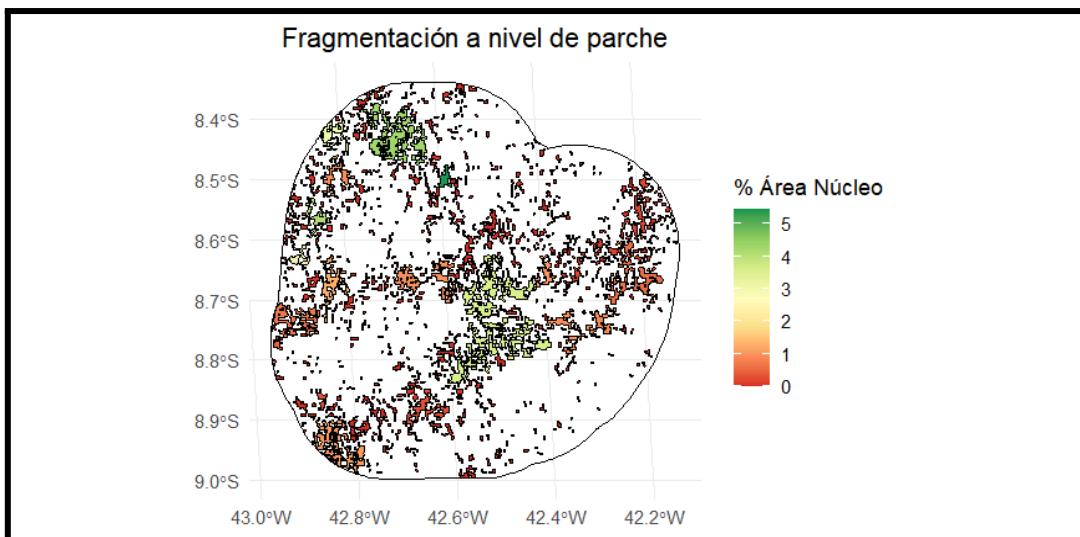
## 1. Estadísticas de fragmentación del paisaje



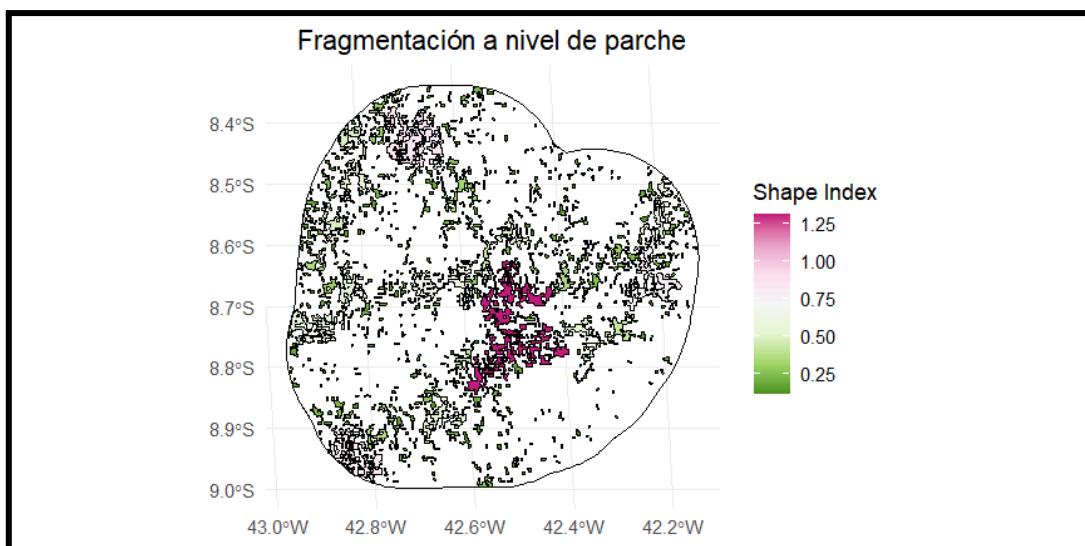
**Figura 1.** Distribución espacial de los parches de bosque ( $\geq 30\%$  cobertura arbórea) dentro del buffer de 20 km alrededor del Parque Nacional da Serra da Capivara.



**Figura 2.** Distribución de área núcleo (verde) y borde (rojo) en los parches de bosque identificados. Distancia de borde de 500 m.



**Figura 3.** Porcentaje de área núcleo en los parches de bosque. Los valores más altos se localizan en parches grandes y más compactos (verde), principalmente en la zona central del área de estudio.



**Figura 4.** Índice de forma (Shape Index) de los parches de bosque. Valores altos reflejan geometrías más irregulares (fucsia), mientras que los valores bajos corresponden a parches más compactos (verdes).

## 2. Índice integral de conectividad y Probabilidad de conectividad

En términos de índices globales de conectividad, los resultados fueron los siguientes:

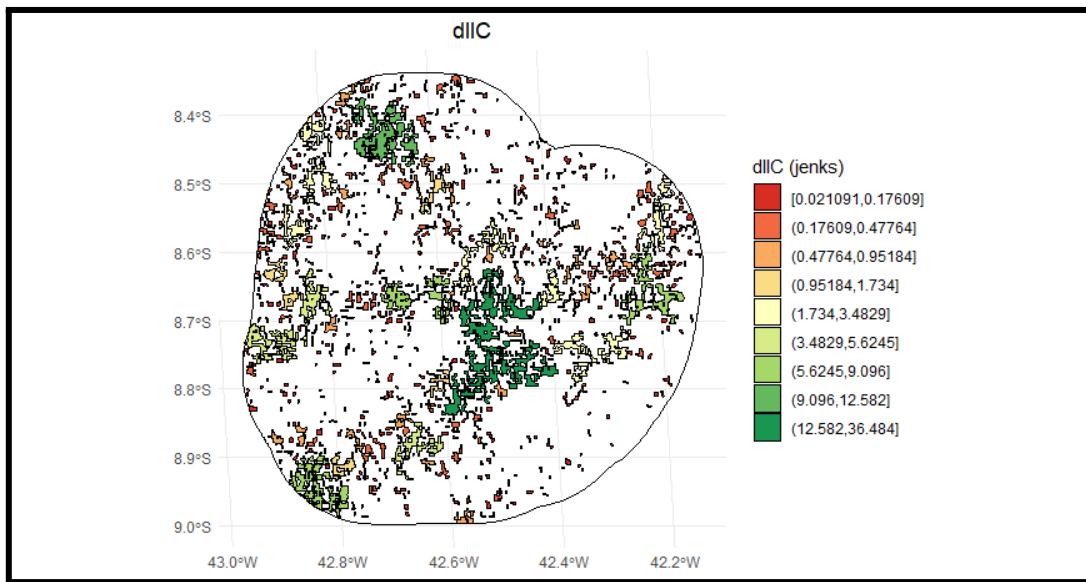
### IIC (Integral Index of Connectivity):

- IICnum =  $1,78 \times 10^9$
- EC(IIC) = 42.169 ha
- IIC = 0,00636

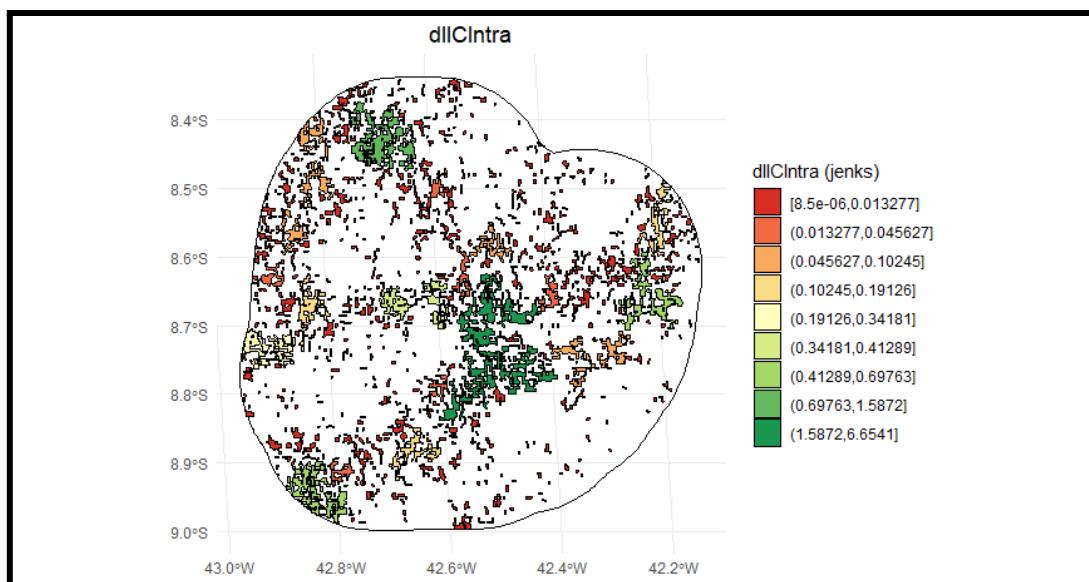
### PC (Probability of Connectivity):

- PCnum =  $5,52 \times 10^9$
- EC(PC) = 74.287 ha
- PC = 0,0197

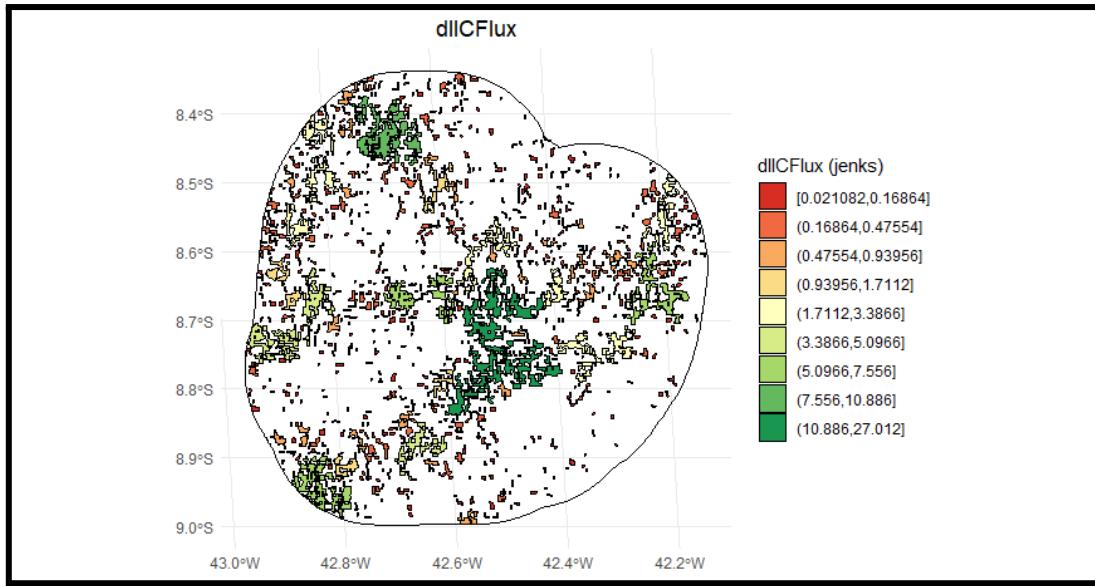
### Fracciones del IIC (Integral Index of Connectivity)



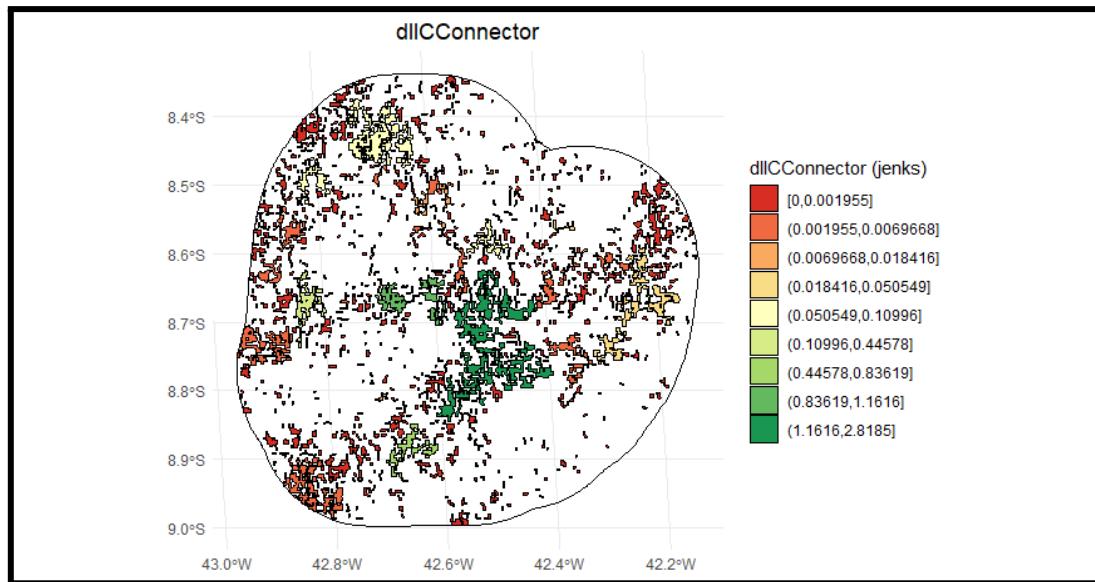
**Figura 6.** Distribución espacial del **dIIC total** (diferencia en el Índice Integral de Conectividad) en el área de estudio. Tonos verdes = mayor contribución a la conectividad.



**Figura 7.** Distribución espacial del **dIICintra** (contribución de la conectividad intraparche) en el área de estudio. Los colores verdes indican parches con alta importancia por su área interna (parches grandes o continuos).

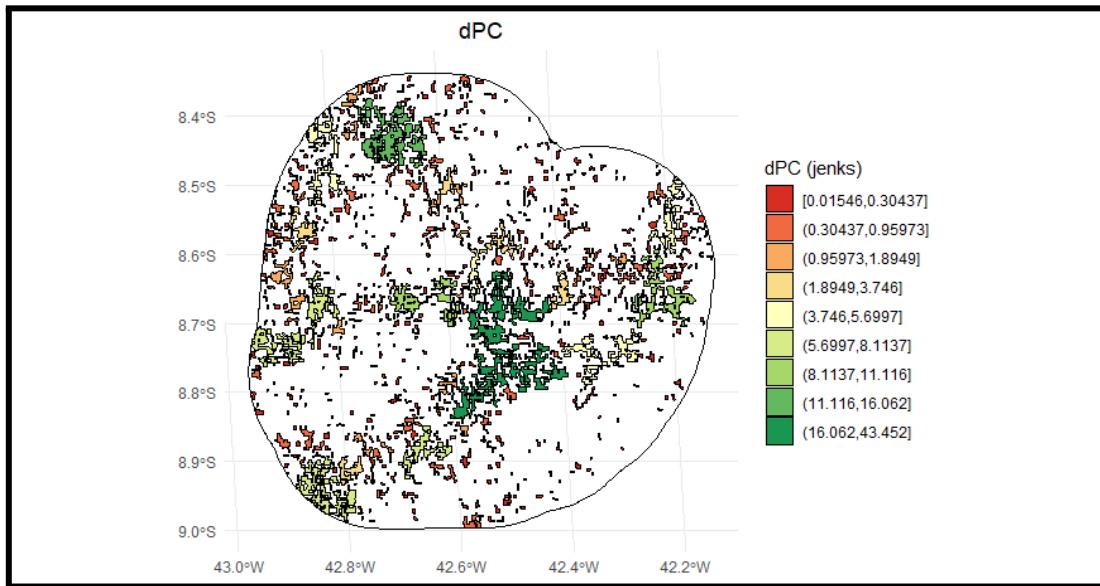


**Figura 8.** Distribución espacial del **dIICflux** (contribución de la conectividad por flujo). Colores rojos destacan los parches que facilitan la dispersión de especies hacia otros fragmentos, actuando como fuentes o destinos clave.

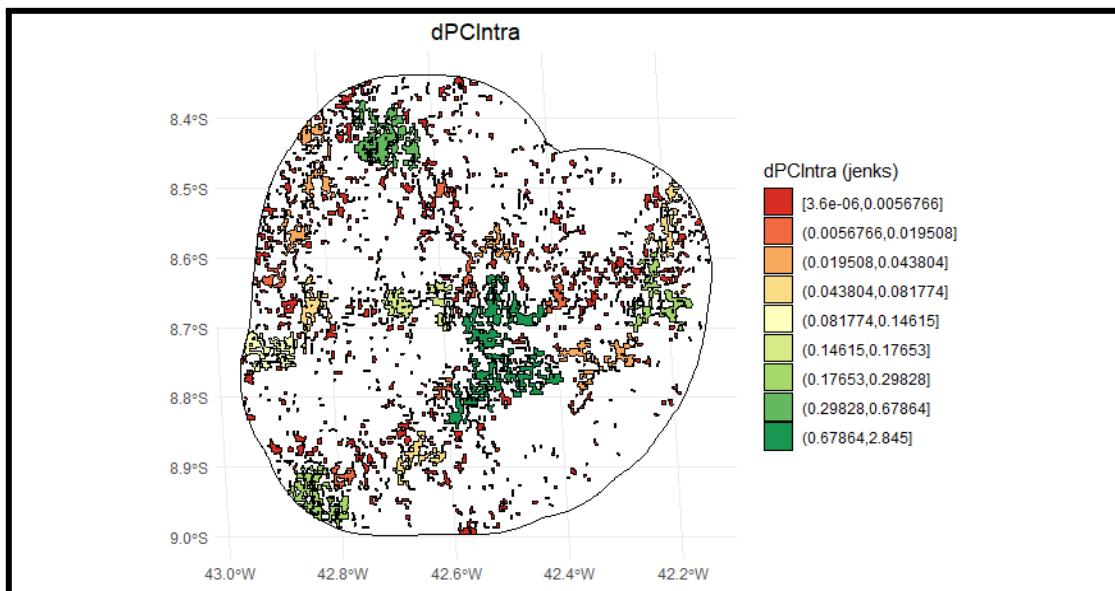


**Figura 9. dIICconnector:** colores verdes muestran parches que funcionan como conectores críticos o "stepping stones", mientras que colores rojos indican parches que no aportan mucho a la conectividad.

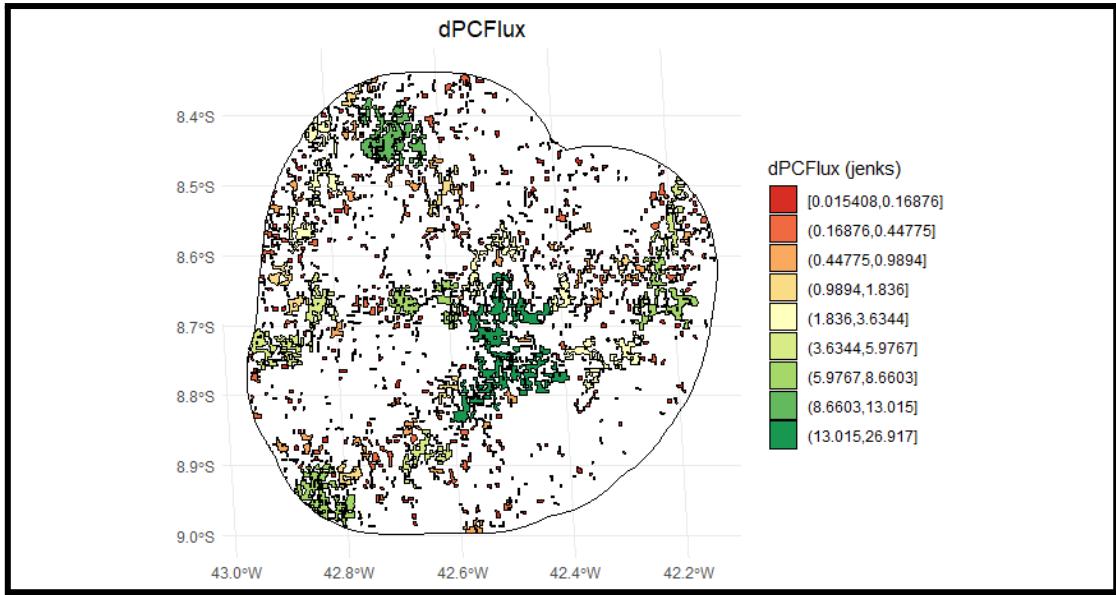
### Fracciones del PC (Probability of Connectivity)



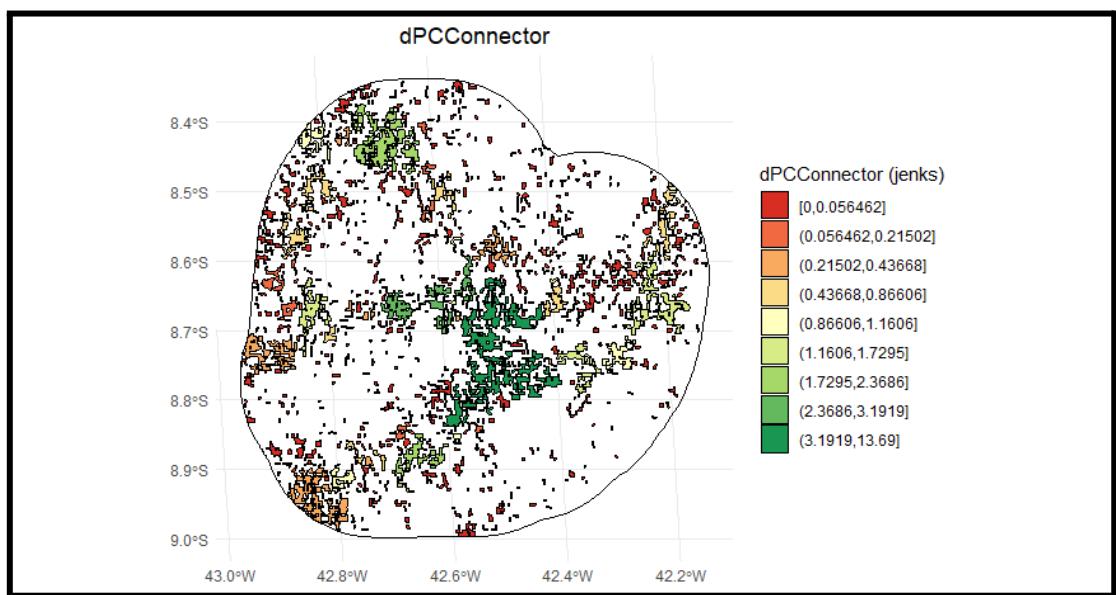
**Figura 10.** Índice **dPC** (Delta Probability of Connectivity) que muestra la contribución de cada parche a la conectividad general, donde los tonos rojos y naranjas representan baja importancia, los amarillos y verdes claros indican aporte intermedio y los verdes intensos señalan parches clave para la conectividad regional.



**Figura 11.** Componente **dPCintra** que representa la conectividad interna de los parches, con tonos rojos y naranjas en parches pequeños de baja calidad, y verdes intensos en parches grandes y compactos con alta conectividad interna.



*Figura 12. Componente **dPCflux** que muestra la importancia de los parches como fuentes de flujo de conectividad hacia otros fragmentos, con colores rojos y naranjas indicando baja capacidad de intercambio, amarillos y verdes claros aportes intermedios y verdes oscuros parches estratégicos que facilitan el movimiento entre fragmentos.*



*Figura 13. Componente **dPCCconnector** que mide la importancia de los parches como conectores entre fragmentos, donde los tonos rojos corresponden a parches sin rol connector, los amarillos a conectores secundarios y los verdes a parches que funcionan como corredores críticos para la red ecológica.*

## Discusión

Los resultados obtenidos muestran que el paisaje en torno al Parque Nacional da Serra da Capivara presenta un alto nivel de fragmentación, reflejado en un porcentaje de área no conectada cercano al 100% según el MESH. Esta situación indica que, pese a la presencia de un núcleo de hábitat bien conservado dentro del parque, los fragmentos en la matriz circundante están altamente aislados y su aporte a la conectividad regional es muy limitado. La baja proporción de área núcleo (3,3%) y el predominio de fragmentos pequeños (582 parches < 100 km<sup>2</sup>) refuerzan esta interpretación, evidenciando la vulnerabilidad del paisaje frente a procesos de pérdida adicional de cobertura.

El uso de una distancia de borde de 500 m y un área mínima de nodo de 100 km<sup>2</sup> (Haddad et al., 2015) pudo influir en la severidad de los resultados, ya que estos parámetros son muy restrictivos para un paisaje relativamente pequeño como la Caatinga del Piauí. En este sentido, se abre el debate metodológico: ¿es válido ajustar los parámetros a escalas menores aunque no cuenten con una referencia bibliográfica directa, o se debe mantener la estandarización propuesta en la literatura? La respuesta depende del objetivo del análisis. Si se busca comparabilidad con estudios previos (Haddad et al., 2015; Saura & Pascual-Hortal, 2007), lo más riguroso es mantener esos valores, incluso si “castigan” los resultados. Sin embargo, para aplicaciones locales, como orientar la planificación de corredores en paisajes específicos, puede justificarse explorar distancias de borde y áreas mínimas adaptadas a la escala del sistema de estudio, siempre que se reconozcan las limitaciones de comparabilidad.

En cuanto a la conectividad funcional, los valores de IIC (0,0063) y PC (0,0197) son bajos, lo que confirma que la probabilidad de que dos puntos aleatorios estén conectados en el paisaje es reducida. No obstante, los análisis de fracciones de IIC y PC permiten identificar parches estratégicos: algunos fragmentos externos al parque cumplen funciones de conectores (dIICconnector, dPCconnector) o de nodos de flujo (dIICflux, dPCflux). Esto coincide con lo señalado por Saura et al. (2011, 2014, 2018), quienes destacan que parches pequeños o intermedios, bien posicionados, pueden tener un rol desproporcionado en la conectividad de la red. En el caso de Capivara, estos parches podrían ser fundamentales para sostener recolonizaciones de especies como el tapir (Bartaburu, 2025; IPE, 2024), cuya dispersión depende de corredores riparios y áreas intermedias entre núcleos de hábitat.

La literatura también sugiere que los valores bajos de conectividad en paisajes fragmentados pueden mitigarse mediante estrategias de restauración focalizadas en los parches más relevantes (Dilts et al., 2016; Herrera et al., 2017). En este sentido, los mapas de dPC y dIIC elaborados en este trabajo constituyen insumos valiosos para priorizar áreas donde intervenciones de conservación y restauración tendrían mayor impacto en la cohesión de la red ecológica.

El uso del paquete Makurhini resultó fundamental para la realización de este análisis, ya que permitió calcular de manera eficiente y sistemática diferentes índices de conectividad y fragmentación a múltiples escalas, integrando enfoques de teoría de grafos y métricas de paisaje. La versatilidad del paquete facilita la comparación entre métricas como IIC y PC, lo que potencia la interpretación ecológica de la estructura y funcionalidad del paisaje. Además, Makurhini incorpora procedimientos estandarizados y transparentes que reducen la posibilidad de errores en el procesamiento manual, al tiempo que permite replicar los análisis en diferentes contextos y áreas de estudio. Tal

como señalan Godínez-Gómez et al. (2025), esta herramienta busca consolidar un marco integral para evaluar la fragmentación y conectividad del paisaje, haciendo posible la aplicación práctica de estos índices tanto en investigación como en la gestión de la conservación.

Finalmente, entre las limitaciones de este análisis se destacan: (1) la dependencia de un único umbral de cobertura arbórea ( $\geq 30\%$ ), lo que puede excluir vegetación más abierta propia de la Caatinga que sí cumple un rol ecológico; (2) la simplificación de la conectividad en una sola distancia de dispersión (10 km), cuando en realidad distintas especies presentan capacidades de movimiento muy variables; y (3) la falta de integración de variables de calidad de hábitat (p. ej., degradación, presión humana). Futuras aplicaciones deberían considerar escenarios con múltiples umbrales de cobertura, incorporar parámetros específicos por especie (Liang et al., 2021) y explorar la conectividad dinámica bajo cambios en el uso del suelo y el clima.

En síntesis, el análisis confirma que la conectividad ecológica en la región es limitada, aunque el Parque Nacional da Serra da Capivara representa un núcleo esencial que, junto con fragmentos clave en el paisaje circundante, puede servir como base para Bartaburudiseñar estrategias de restauración y conservación a escala regional.

## Conclusiones

El análisis de conectividad en torno al Parque Nacional da Serra da Capivara evidencia que el paisaje de la región presenta un alto grado de fragmentación y una baja conectividad funcional. Los resultados de fragmentación muestran un predominio de parches pequeños, una proporción reducida de área núcleo y un porcentaje de área no conectada cercano al 100%, lo que refleja una fuerte vulnerabilidad de la matriz de Caatinga frente a la pérdida de cobertura boscosa. De manera complementaria, los valores de IIC y PC, aunque bajos, permiten identificar la importancia estratégica de algunos fragmentos externos al parque que actúan como conectores ecológicos.

Estos hallazgos tienen implicaciones directas para la planificación de la conservación. El Parque Nacional da Serra da Capivara constituye un núcleo crítico de hábitat, pero la sostenibilidad a largo plazo de su biodiversidad —incluyendo especies de alta movilidad como el tapir y los grandes felinos— dependerá de la existencia de corredores funcionales y de la restauración de áreas clave en el entorno inmediato. La priorización de fragmentos con alta contribución a la conectividad (dIIC y dPC) representa una estrategia eficaz para focalizar esfuerzos de manejo y restauración, maximizando el impacto en la cohesión del paisaje.

Finalmente, este estudio resalta la necesidad de adaptar las métricas de fragmentación y conectividad a la escala y particularidades ecológicas del paisaje, así como de integrar múltiples escenarios de dispersión y calidad de hábitat. Esto permitirá avanzar hacia planes de conservación más robustos y realistas, alineados con las metas internacionales de biodiversidad y con los desafíos locales de la Caatinga brasileña.

## Referencias

- Bartaburu, X. (2025, julio 16). *Antas reaparecem na Caatinga, onde eram tidas como extintas.* Notícias ambientais. Recuperado de <https://brasil.mongabay.com/2025/07/antas-reaparecem-na-caatinga-onde-eram-tidas-como-extintas/>
- Dilts, T. E., Weisberg, P. J., Leitner, P., Matocq, M. D., Inman, R. D., Nussear, K. E., & Esque, T. C. (2016). Multiscale connectivity and graph theory highlight critical areas for conservation under climate change. *Ecological Applications*, 26(4), 1223–1237. <https://doi.org/10.1890/15-0925>
- Godínez-Gómez, O., Correa-Ayram, C., Goicolea, T., & Saura, S. (2025). Makurhini: An R package for comprehensive analysis of landscape fragmentation and connectivity. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-6398746/v1>
- Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Davies, K. F., Gonzalez, A., Holt, R. D., ... Townshend, J. R. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, 1(2), e1500052. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500052>
- Herrera, L. P., Sabatino, M. C., Jaimes, F. R., & Saura, S. (2017). Landscape connectivity and the role of small habitat patches as stepping stones: An assessment of the grassland biome in South America. *Biodiversity and Conservation*, 26(14), 3465–3479. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1416-7>
- ICMBio. (2019). *Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra da Capivara*. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Recuperado de [https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/caatinga/lista-de-ucs/parna-da-serra-da-capivara/arquivos/plano\\_de\\_manejo\\_parna\\_da\\_serra\\_da\\_capivara.pdf](https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/caatinga/lista-de-ucs/parna-da-serra-da-capivara/arquivos/plano_de_manejo_parna_da_serra_da_capivara.pdf)
- Liang, J., Ding, Z., Jiang, Z., Yang, X., Xiao, R., Singh, P. B., Hu, Y., Guo, K., Zhang, Z., & Hu, H. (2021). Climate change, habitat connectivity, and conservation gaps: A case study of four ungulate species endemic to the Tibetan Plateau. *Landscape Ecology*, 36(4), 1071–1087. <https://doi.org/10.1007/s10980-021-01202-0>
- Potapov, P., Hansen, M. C., Pickens, A., Hernandez-Serna, A., Tyukavina, A., Zalles, V., ... Kommareddy, I. (2021). The global 2000–2020 land cover and land use change dataset derived from Landsat. *Remote Sensing of Environment*, 253, 112165. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112165>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.03.005>
- Saura, S., Estreguil, C., Mouton, C., & Rodríguez-Freire, M. (2011). Network analysis to assess landscape connectivity trends: Application to European forests (1990–2000). *Ecological Indicators*, 11(2), 407–416. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.06.011>
- Saura, S., Bodin, Ö., & Fortin, M. J. (2014). Stepping stones are crucial for species' long-distance dispersal and range expansion through habitat networks. *Journal of Applied Ecology*, 51(1), 171–182. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12179>

Saura, S., Bartzky, B., Bastin, L., Battistella, L., Mandrici, A., & Dubois, G. (2018). Protected area connectivity: Shortfalls in global targets and country-level priorities. *Biological Conservation*, 219, 53–67. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.12.020>

UNEP-WCMC, & IUCN. (2025). *Protected Planet: The World Database on Protected Areas (WDPA)* [Online]. Cambridge, UK: UNEP-WCMC and IUCN. Recuperado el 15 de agosto de 2025 de <https://www.protectedplanet.net>

UNESCO. (2023). *Patrimônio Mundial - Serra da Capivara*. Recuperado de <https://www.unesco.org/archives/multimedia/document-3544-por-2>

## Material anexo

### Anexo 1. Script de R (.R o .Rmd) con el análisis completo y comentado

```
library(ggplot2)
library(sf)
library(terra)
library(raster)
library(Makurhini)
library(RColorBrewer)

#Creo las variables de los nodos y el paisaje
habitat_nodes <- read_sf("C:/Users/Ususari/OneDrive/Escritorio/Cursos/Enfoques, métodos y herramientas para el análisis de la conectividad ecológica/Insumos/Final2/Bosque_Caatinga.shp")
nrow(habitat_nodes)
paisaje <- read_sf("C:/Users/Ususari/OneDrive/Escritorio/Cursos/Enfoques, métodos y herramientas para el análisis de la conectividad ecológica/Insumos/Final2/Paisaje_Estudio.shp")

#Grafico nodos y el paisaje
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())

#Evaluando la fragmentación
area_paisaje <- st_area(paisaje)
area_paisaje <- unit_convert(area_paisaje, "m2", "ha")

Fragmentacion <- MK_Fragmentation(nodes = habitat_nodes,
                                      edge_distance = 500,
                                      min_node_area = 100,
                                      landscape_area = area_paisaje,
                                      area_unit = "ha",
                                      perimeter_unit = "km",
                                      plot = TRUE)

Fragmentacion$`Patch statistics shapefile`

##Graficando porcentaje de area nucleo con una distancia de borde de 500 m
ggplot() +
  geom_sf(data = paisaje, aes(color = "Study area"), fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = Fragmentacion$`Patch statistics shapefile`, aes(fill = CAPercent), color = "black", size = 0.1) +
  scale_fill_distiller(
```

```

palette = "RdYIGn",
direction = 1,
name = "% Área Núcleo"
) +
theme_minimal() +
labs(
  title = "Fragmentación a nivel de parche",
  fill = "% Área Núcleo"
) +
theme(
  legend.position = "right",
  plot.title = element_text(hjust = 0.5)
)

#Graficando indice de forma (Shape index)
ggplot() +
  geom_sf(data = paisaje, aes(color = "Study area"), fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = Fragmentacion$`Patch statistics shapefile`, aes(fill = ShapeIndex), color = "black", size =
  0.1) +
  scale_fill_distiller(
    palette = "PiYG",
    direction = -1,
    name = "Shape Index"
) +
  theme_minimal() +
  labs(
    title = "Fragmentación a nivel de parche",
    fill = "Shape Index"
) +
  theme(
    legend.position = "right",
    plot.title = element_text(hjust = 0.5)
)

##indices a nivel de paisaje
class(Fragmentacion)
Fragmentacion$`Summary landscape metrics (Viewer Panel)`'

##porcentaje de area fragmentada, con base en el resultado del mesh
mesh <- as.data.frame(Fragmentacion$`Summary landscape metrics (Viewer Panel)`)
mesh <- mesh[13,2]
mesh_porcentage <- (area_paisaje - mesh) * 100 / area_paisaje
mesh_porcentage

#índice integral de conectividad y Probabilidad de conectividad MK_dPCIIC()
ggplot() +
  geom_sf(data = paisaje, aes(color = "Study area"), fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = habitat_nodes, aes(color = "Patches"), fill = "forestgreen", linewidth = 0.5) +
  scale_color_manual(name = "", values = "black")+
  theme_minimal() +
  theme(axis.title.x = element_blank(),
        axis.title.y = element_blank())

##Índice integral de conectividad (IIC) en el paisaje (onlyoverall)
IIC <- MK_dPCIIC(nodes = habitat_nodes,
                  attribute = NULL,
                  area_unit = "ha",
                  distance = list(type = "centroid"),
                  LA = area_paisaje,
                  onlyoverall = TRUE,
                  metric = "IIC",
                  distance_thresholds = 10000,

```

```

internal = TRUE) #10 km

##Índice integral de conectividad (IIC)
area_paisaje <- st_area(paisaje)
area_paisaje <- unit_convert(area_paisaje, "m2", "ha")

IIC <- MK_dPCIIC(nodes = habitat_nodes,
                  attribute = NULL,
                  area_unit = "ha",
                  distance = list(type = "edge"),
                  LA = area_paisaje,
                  onlyoverall = FALSE,
                  metric = "IIC",
                  distance_thresholds = 10000,
                  internal = TRUE) #10 km

### dIIC
library(classInt)
library(dplyr)

# Calcular los intervalos de Jenks para strength
breaks <- classInt::classIntervals(IIC$dIIC, n = 9, style = "jenks")

# Crear una nueva variable categórica con los intervalos
IIC <- IIC %>%
  mutate(dIIC_q = cut(dIIC,
                      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 = IIC, aes(fill = dIIC_q), color = "black", size = 0.1) +
  scale_fill_brewer(palette = "RdYIGn", direction = 1, name = "dIIC (jenks)") +
  theme_minimal() +
  labs(
    title = "dIIC",
    fill = "dIIC"
  ) +
  theme(
    legend.position = "right",
    plot.title = element_text(hjust = 0.5)
  )

# dIICIntra
# Calcular los intervalos de Jenks para strength
breaks <- classInt::classIntervals(IIC$dIICintra, n = 9, style = "jenks")

# Crear una nueva variable categórica con los intervalos
IIC <- IIC %>%
  mutate(dIIC_q = cut(dIICintra,
                      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 = IIC, aes(fill = dIIC_q), color = "black", size = 0.1) +
  scale_fill_brewer(palette = "RdYIGn", direction = 1, name = "dIICIntra (jenks)") +

```

```

theme_minimal() +
  labs(
    title = "dIICIntra",
    fill = "dIICIntra"
  ) +
  theme(
    legend.position = "right",
    plot.title = element_text(hjust = 0.5)
  )

##dIICflux
# Calcular los intervalos de Jenks para strength
breaks <- classInt::classIntervals(IIC$dIICflux, n = 9, style = "jenks")

# Crear una nueva variable categórica con los intervalos
IIC <- IIC %>%
  mutate(dIIC_q = cut(dIICflux,
    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 = IIC, aes(fill = dIIC_q), color = "black", size = 0.1) +
  scale_fill_brewer(palette = "RdYIGn", direction = 1, name = "dIICFlux (jenks)") +
  theme_minimal() +
  labs(
    title = "dIICFlux",
    fill = "dIICFlux"
  ) +
  theme(
    legend.position = "right",
    plot.title = element_text(hjust = 0.5)
  )

##dIICconnector

# Calcular los intervalos de Jenks para strength
breaks <- classInt::classIntervals(IIC$dIICconnector, n = 9, style = "jenks")

# Crear una nueva variable categórica con los intervalos
IIC <- IIC %>%
  mutate(dIIC_q = cut(dIICconnector,
    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 = IIC, aes(fill = dIIC_q), color = "black", size = 0.1) +
  scale_fill_brewer(palette = "RdYIGn", direction = 1, name = "dIICConnector (jenks)") +
  theme_minimal() +
  labs(
    title = "dIICConnector",
    fill = "dIICConnector"
  ) +
  theme(
    legend.position = "right",
    plot.title = element_text(hjust = 0.5)
  )

```

```

##Probabilidad de conectividad (PC) paisaje (onlyoverall)

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

##Probabilidad de conectividad (PC)
area_paisaje <- st_area(paisaje)
area_paisaje <- unit_convert(area_paisaje, "m2", "ha")

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

##dPC
library(classInt)
library(dplyr)

# Calcular los intervalos de Jenks para strength
breaks <- classInt::classIntervals(PC$dPC, n = 9, 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)
  )

##dPCIntra
# Calcular los intervalos de Jenks para strength
breaks <- classInt::classIntervals(PC$dPCintra, n = 9, 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)
  )

##dPCflux
# Calcular los intervalos de Jenks para strength
breaks <- classInt::classIntervals(PC$dPCflux, n = 9, 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)
  )

##dPCconnector
# Calcular los intervalos de Jenks para strength
breaks <- classInt::classIntervals(PC$dPCconnector, n = 9, 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 = "dPCCConnector (jenks)") +  
  theme_minimal() +  
  labs(  
    title = "dPCCConnector",  
    fill = "dPCCConnector"  
) +  
  theme(  
    legend.position = "right",  
    plot.title = element_text(hjust = 0.5)  
)
```