

Pablo Alejandro Sierra Herrera.

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

Desarrollo trabajo final.

- Introducción:

La Caatinga, uno de los biomas más singulares de Brasil, se encuentra sometida a un proceso continuo de fragmentación y transformación del paisaje, llegando a ser reconocido como uno de los biomas más transformados en el país (Antongiovanni et al., 2018; Rodrigues, 2025). Las presiones derivadas de la expansión agropecuaria, la extracción de leña y la apertura de nuevas áreas productivas han configurado un mosaico de parches aislados, donde la conectividad entre fragmentos de hábitat se reduce de manera constante, aunque aún mantengan una buena conectividad (Antongiovanni et al., 2018). Esta situación no solo compromete la persistencia de especies de distribución restringida, sino también de aquellas que requieren amplias áreas para sobrevivir, como el *Tapirus terrestris*, la mayor especie terrestre de mamífero en América del Sur y actualmente catalogada como vulnerable en Brasil (Wandembruck et al., 2023).

La presencia de tajes en la región de la Serra da Capivara, dentro del bioma Caatinga, constituye un hallazgo reciente, tras considerarle extinto en la región por varios años, y de gran relevancia para la conservación. Investigaciones impulsadas por el Instituto de Pesquisas Ecológicas (IPE) destacan que estos registros no solo confirman la importancia del Parque Nacional como refugio para la especie, sino que también evidencian los desafíos asociados a su supervivencia en paisajes altamente fragmentados y sometidos a intensa presión antrópica (IPE, 2024). El área protegida, declarada Patrimonio Mundial por la UNESCO y reconocida por su riqueza arqueológica y natural, juega un papel crucial en la preservación de remanentes boscosos que actúan como núcleos de conectividad dentro de la matriz antrópica circundante (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade [ICMBio], 2018).

En este escenario, la conectividad del paisaje emerge como un elemento central para el mantenimiento de procesos ecológicos y el flujo génico entre poblaciones de tajes. La pérdida de conectividad funcional amenaza con acentuar el aislamiento de los parches, reduciendo la viabilidad a largo plazo de la especie y comprometiendo servicios ecosistémicos clave asociados a su rol como dispersor de semillas. Por ello, se hace necesario identificar, de manera cuantitativa, cuáles parches y corredores contribuyen de forma más significativa a sostener la conectividad de la red de hábitats.

En consecuencia, la pregunta que guía este trabajo es: *¿cuáles son los parches de hábitat que más aportan a la conectividad del paisaje en la región de la Serra da Capivara, y qué corredores resultan prioritarios para garantizar la persistencia de Tapirus terrestris en el bioma Caatinga?*

- Metodología:

El estudio de conectividad se llevó a cabo utilizando el paquete Makurhini en R (v.4.4.2), apoyado en herramientas de visualización como ggplot2 y gdistance. El área de análisis corresponde al Parque Nacional Serra da Capivara y su entorno inmediato, en la región semiárida de la Caatinga brasileña. Para caracterizar el hábitat disponible se emplearon los mapas globales de cobertura arbórea de Potapov et al. (2021), seleccionando fragmentos con al menos un 30% de cobertura arbórea y una resolución espacial de 30 m. Como insumo principal para delimitar el área protegida se utilizó el polígono oficial del parque, disponible en la base de datos de áreas protegidas del mundo (UNEP-WCMC & IUCN, 2025; información obtenida de la ficha técnica aportada por el curso).

El procedimiento inició con la delimitación del polígono del área protegida y la construcción de un buffer de 20 km alrededor, que permitió considerar tanto el núcleo de conservación como su zona de influencia. A partir de esta delimitación se extrajeron los parches boscosos, entendidos como los nodos de la red de conectividad, según fue informado en la ficha técnica ofrecida en el curso. De forma complementaria, se incorporó un ráster de huella espacial humana, empleado como matriz de resistencia para representar los costos de desplazamiento de las especies en un paisaje altamente transformado. La combinación de estos insumos facilitó un marco analítico en el que se integran tanto la disponibilidad de hábitat como las restricciones asociadas a la presión antrópica (La Figura 1 muestra la sobreposición de todas las capas empleadas).

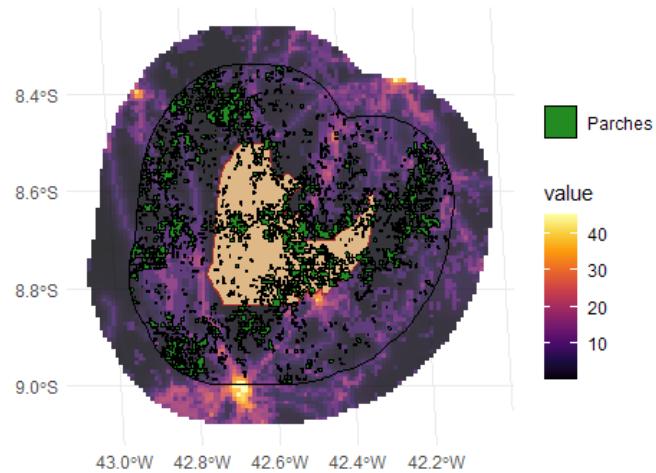


Figura 1

Con esta base, se estimó el índice de Probabilidad de Conectividad (PC) y sus fracciones a través de la función MK_dPCIIC. Para ello se adoptó un rango de dispersión de 2 km, en concordancia con estimaciones de movimiento para *Tapirus terrestris* en Brasil (Wandembruck et al., 2023). La conectividad se modeló mediante rutas de costo mínimo (*least-cost*), tomando como referencia la resistencia impuesta por la huella humana, y se estableció una probabilidad de conexión de 0,5 como escenario intermedio de dispersión. Los valores obtenidos de dPC se clasificaron mediante intervalos naturales de Jenks, lo que permitió identificar gradientes en la importancia relativa de cada fragmento en la red de conectividad.

Posteriormente, se seleccionaron los 100 parches con mayor contribución al índice dPC, los cuales fueron considerados nodos prioritarios en la red (Figura 2). Esta selección buscó destacar los fragmentos clave sin perder la representatividad de la estructura del paisaje. Con estos nodos se construyeron los corredores ecológicos que hacen posible la conectividad en el paisaje, pasando a calcular los centroides de los parches y, a partir de ellos, fueron modeladas rutas de menor costo entre fragmentos utilizando la librería gdistance. Dichas rutas permitieron representar los corredores ecológicos potenciales, entendidos como las trayectorias más probables de movimiento entre fragmentos de hábitat.

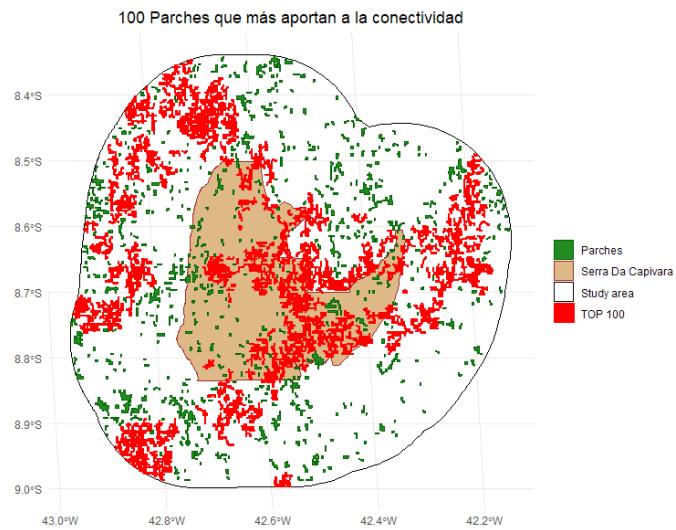


Figura 2

Finalmente, se aplicó la función MK_dPCIIC_links para evaluar la importancia de cada corredor mediante el método de eliminación de enlaces (*link removal*). Este procedimiento consistió en simular la pérdida de cada conexión y calcular el impacto resultante sobre el índice de conectividad global, lo que facilitó priorizar los corredores más estratégicos de la red. Los resultados se organizaron de acuerdo con su contribución relativa y se seleccionaron los 60 corredores con mayor valor, los cuales fueron representados en mapas temáticos como insumos para orientar acciones de conservación y restauración en la región.

- Resultado:

El análisis de conectividad permitió caracterizar la estructura espacial del paisaje en torno al Parque Nacional Serra da Capivara y su zona de influencia. En primer lugar, los cálculos del índice de Probabilidad de Conectividad (PC) mostraron que existen diferencias notables en la importancia relativa de los fragmentos de bosque. La clasificación de los valores de dPC evidenció la existencia de un subconjunto reducido de parches que concentran la mayor contribución a la conectividad regional, mientras que la mayoría de los fragmentos presentó valores bajos o intermedios (Figura 3). Algo relevante a destacar es que algunos de los parches señalados como los más importantes para la conectividad del paisaje para el *Tapirus*

terrestris se encuentran dentro del área del parque Serra da Capivara (aquejlos en tonos más verdes), a excepción de algunos pocos que, por su tamaño pueden estar aportando fuera de los límites del parque a la movilidad del *Tapirus terrestris*. Igualmente, es importante notar como dentro de la parte occidental del parque no se encuentran grandes fragmentos de hábitat que tengan valores muy altos.

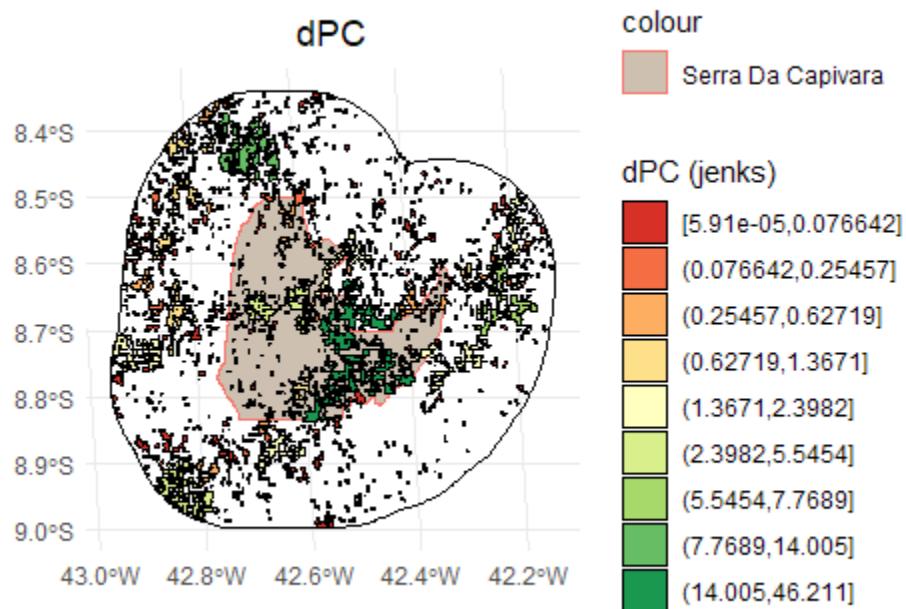


Figura 3

Adicionalmente, también fue contemplada la fracción dPC flux, lo que cambia un poco el panorama. Como puede verse en la Figura 4, los parches que reciben y emiten una mayor cantidad de conexiones varían frente a los que tienen un mayor valor general en el paisaje. Por lo tanto, estos parches que aportan mayoritariamente a la movilidad en toda la red ecológica, también tienen gran importancia, principalmente porque son algunos de los que no se encuentran en una posición muy central y aportan movilidad hacia las periferias del área de estudio.

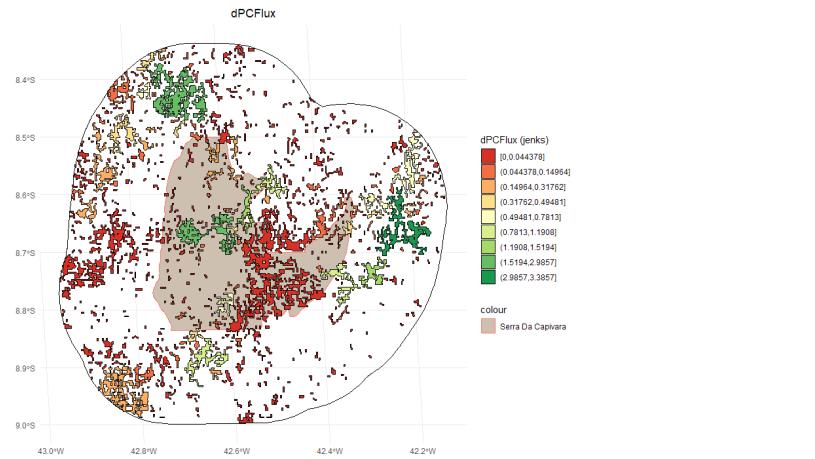


Figura 4

A partir de estas distribuciones, se identificaron los 100 parches con mayor valor de dPC, que representan los nodos más relevantes de la red ecológica. Estos fragmentos se distribuyen de manera heterogénea, destacándose su papel como conectores clave en un paisaje dominado por la matriz de usos humanos. En este caso, la representación cartográfica permitió visualizar su localización espacial.

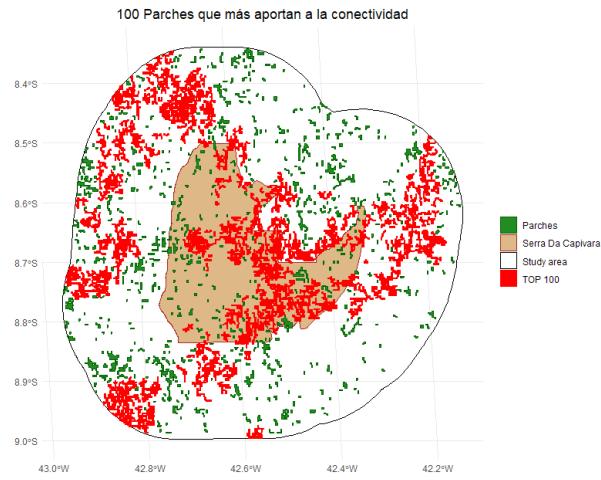


Figura 5

Con la delimitación de estos nodos prioritarios se estimaron rutas de menor costo, generando una red de corredores ecológicos potenciales. El procedimiento de eliminación de enlaces (*link removal*) aplicado a esta red permitió calcular el impacto individual de cada conexión sobre el índice de conectividad global (Figura 6). De esta manera, se priorizaron los 60 corredores más relevantes, que en conjunto representan las trayectorias con mayor contribución a la cohesión estructural del paisaje. En los mapas obtenidos se distinguen claramente los corredores con mayor puntuación, lo que ofrece una visión espacial de las áreas donde la conectividad depende de forma más crítica de la permanencia de estos enlaces (Figura 7).

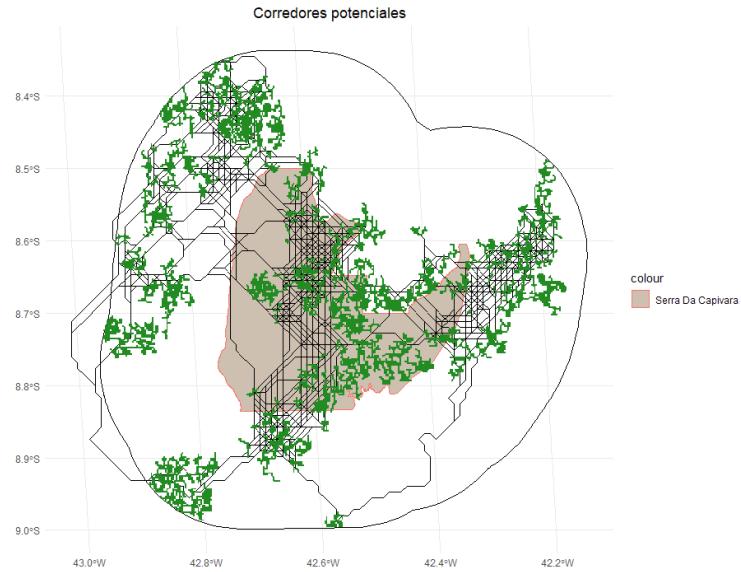


Figura 6

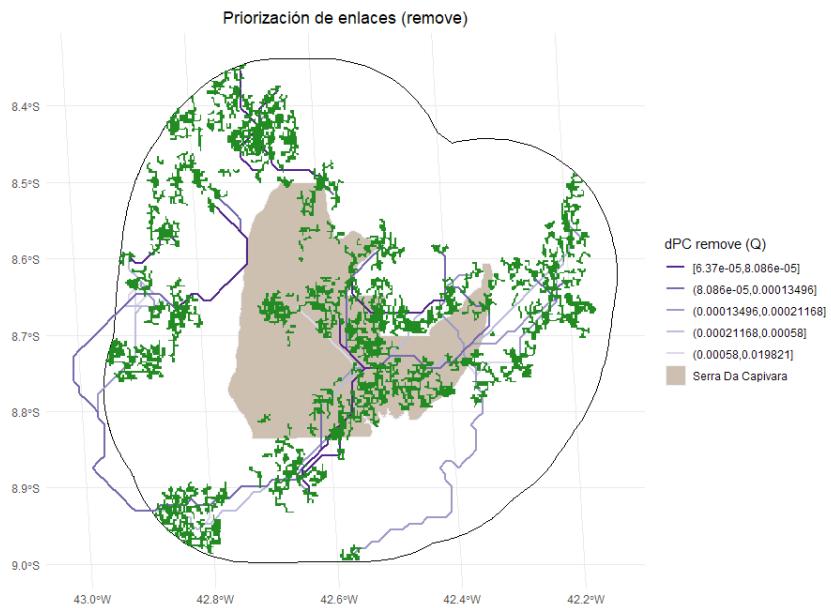


Figura 7

En síntesis, los resultados confirman la existencia de una red de fragmentos y corredores que sostienen de manera desigual la conectividad del área de estudio, teniendo presente el *Tapirus terrestris* como especie focal. Mientras unos pocos nodos y enlaces aportan de forma decisiva al índice de conectividad, otros tienen un papel marginal, lo que resalta la necesidad de enfocar los esfuerzos de conservación en aquellas áreas estratégicas identificadas en el análisis, así como se hace relevante poder aplicar figuras que promuevan la protección de

aquellos parches de bosque importantes para el paisaje que no se encuentran dentro del área delimitada del parque Serra da Capivara. Por el momento, puede promoverse la conectividad dentro de los parches presentes en el parque, aportando así ligeramente a la conectividad y movilidad de la especie en cuestión.

- **Discusión:**

Los resultados obtenidos ponen de relieve la marcada heterogeneidad en la contribución de los fragmentos de bosque a la conectividad del paisaje. La identificación de un conjunto reducido de nodos que concentran los valores más altos de dPC confirma la la presencia de una desigualdad en la red ecológica: mientras que muchos parches actúan de manera marginal, unos pocos cumplen un papel desproporcionadamente alto en la conectividad funcional del paisaje. Esta tendencia ha sido documentada en diversos contextos tropicales, donde la pérdida de unos pocos fragmentos críticos puede ocasionar un colapso funcional de la conectividad a escalas regionales (Saura & Rubio, 2010; Martensen et al., 2017).

La priorización de corredores obtenida a través del procedimiento de eliminación de enlaces resalta la relevancia de ciertas trayectorias que, de mantenerse funcionales, podrían facilitar los desplazamientos de especies con requerimientos espaciales amplios, como el tapir amazónico (*Tapirus terrestris*). Estudios recientes han mostrado que, en ambientes altamente fragmentados como la Caatinga, la conectividad funcional depende no solo de la existencia de hábitat remanente, sino de la calidad y continuidad de los corredores que permiten mantener el flujo genético y ecológico entre poblaciones aisladas (Antongiovanni et al., 2022; Wandembruck et al., 2023). En este sentido, los corredores identificados en este análisis constituyen zonas críticas para sostener la viabilidad de especies clave y, por extensión, la resiliencia del ecosistema.

No obstante, este desarrollo metodológico también debe contemplar sus propias limitaciones. En primer lugar, la definición de hábitat se basó en un umbral de cobertura arbórea ($\geq 30\%$), lo cual excluye áreas de vegetación secundaria quepodrían ofrecer recursos y conectividad parcial a distintas especies. Asimismo, el uso de una matriz de resistencia basada en el *índice espacial de huella humana* proporciona una aproximación general a los costos de movimiento, pero no incorpora variaciones locales en permeabilidad que dependen de factores como microhabitats, prácticas de manejo o gradientes estacionales. Del mismo modo, el enfoque centrado en un único rango de dispersión —en este caso, asociado al tapir— limita la generalización de los resultados a otras especies con diferentes capacidades de movimiento, aunque el reconocimiento de vulnerabilidad de esta especie motive programas de conservación que actualmente se están adelantando.

De cara a futuros análisis, sería recomendable integrar modelos de conectividad multi-especie que consideren simultáneamente distintos umbrales de dispersión, así como incorporar datos empíricos de presencia y movimiento que permitan validar los corredores identificados. Para este último punto, los datos pueden ser más difíciles de conseguir, pero no sería descabellado pensar que luego de los estudios adelantadas por el IPE, pueda contarse con una base de datos que brinde esta información. Inclusive, una aproximación dinámica que contemple escenarios de cambio en el uso del suelo y variaciones climáticas podría

aportar elementos clave para la planificación de largo plazo. Finalmente, es interesante notar que la construcción de los corredores potenciales fue realizada contemplando los centroides de los nodos, por lo que valdría la pena poder construir estos enlaces desde el borde de los parches, pues debido a la matriz de resistencia empleada, los enlaces podrían resultar diferentes teniendo en cuenta la forma poco homogénea de los parches contemplados en este estudio. En cualquier caso, este ejercicio evidencia el valor de herramientas como Makurhini para orientar estrategias de conservación basadas en criterios de conectividad, resaltando la necesidad de priorizar tanto nodos como corredores estratégicos para asegurar la persistencia de la biodiversidad en paisajes fragmentados.

- **Conclusión:**

El presente análisis buscó responder a la pregunta de cuáles son los parches de bosque y corredores que más contribuyen a la conectividad ecológica en el entorno del Parque Nacional Serra da Capivara, bajo el contexto de conservación del *Tapirus terrestris* en la Caatinga. Los resultados mostraron que un grupo reducido de fragmentos concentra de manera desproporcionada el aporte a la conectividad del paisaje, confirmando la relevancia estratégica de su protección. Adicionalmente, la priorización de corredores reveló enlaces críticos cuya pérdida supondría un deterioro significativo de la conectividad de la red, reforzando la necesidad de considerar no solo el área de los parches, sino también su posición en la red ecológica. Adicionalmente, es importante tener presente aquellos parches que se encuentran por fuera del área del Parque Nacional revisado, pues estos lugares también están aportando a la conectividad general del paisaje para el tapir amazónico por recibir y emitir varios enlaces.

En síntesis, la aplicación de Makurhini permitió evidenciar que la conectividad funcional del paisaje depende de una combinación entre la conservación de parches clave y la protección de corredores estratégicos que sostienen los flujos ecológicos. Aunque el enfoque estuvo limitado por la definición de hábitat y el uso de un único rango de dispersión, los resultados aportan lineamientos prácticos para orientar acciones de manejo y restauración en la región. Con ello, se confirma la hipótesis de que la identificación de nodos y enlaces prioritarios constituye una herramienta esencial para garantizar la persistencia del tapir y, de manera más amplia, para fortalecer la resiliencia de la biodiversidad en la Caatinga brasileña.

Referencias bibliográficas:

Antongiovanni, Marina & Venticinque, Eduardo & Tambosi, Leandro & Matsumoto, Marcelo & Metzger, Jean & Fonseca, Carlos. (2022). Restoration priorities for Caatinga dry forests: Landscape resilience, connectivity and biodiversity value. *Journal of Applied Ecology*. 59. 10.1111/1365-2664.14131.

Instituto de Pesquisas Ecológicas (IPE). (2023, septiembre 15). *Pesquisadoras retornam à Caatinga para continuar as buscas por localidades de ocorrência atual da anta brasileira*. <https://ipe.org.br/noticias/pesquisadoras-retornam-a-caatinga-para-continuar-as-buscas-por-localidades-de-ocorrencia-atual-da-anta-brasileira/>

ICMBio. (2019). Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra da Capivara. 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

Makurhini. (s. f.). *Manual en español de Makurhini: Paquete en R para el análisis de conectividad ecológica*. Recuperado de https://oscargogo.github.io/Makurhini_manual_esp/.

Martensen, A. C., Saura, S., & Fortin, M. J. (2017). Spatio-temporal connectivity: assessing the amount of reachable habitat in dynamic landscapes. *Methods in Ecology and Evolution*, 8(10), 1253–1264.

Potapov, P., Li, X., Hernandez-Serna, A., Tyukavina, A., Hansen, M. C., Kommareddy, I., ... & Moore, R. (2021). Mapping global forest canopy height through integration of GEDI and Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 253, 112165. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112165>.

Rodrigues, P., Teixeira, C., Guimarães, L. et al. Barcoding the Caatinga biome bees: a practical review. *Mol Biol Rep* 52, 196 (2025). <https://doi.org/10.1007/s11033-025-10307-7>

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>.

Wandembruck, A., Oliveira, L., Chiarello, A. G., & Medici, E. P. (2023). Habitat use and movement patterns of lowland tapirs (*Tapirus terrestris*) in Brazilian landscapes: Implications for conservation. *Journal of Mammalogy*, 104(2), 456–468. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyad012>.

Wandembruck, A.; Vidolin, G.P.; Biondi, D. CONNECTIVITY OF THE HABITAT OF TAPIRUS TERRESTRIS (LINNAEUS, 1758) IN THE MATA DOS GODOY STATE PARK AND ITS BUFFER ZONE. FLORESTA 2024, 54, <https://doi.org/10.5380/rf.v54i1.91831>.

Saura, S., & Rubio, L. (2010). A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. *Ecography*, 33(3), 523–537.

CÓDIGO:

TRABAJO FINAL

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

```

library(Makurhini)
library(RColorBrewer)
library(patchwork)

#Cargar las capas en formato vectorial

Nodos
read_sf("C:/Users/psier/Documents/Universidad/Maestría/CursoConectividad/TrabajoFinal/Final2/Bosque_Catinga.shp") <-
Paisaje
read_sf("C:/Users/psier/Documents/Universidad/Maestría/CursoConectividad/TrabajoFinal/Final2/Paisaje_Estudioso.shp") <-
AreaProt
read_sf("C:/Users/psier/Documents/Universidad/Maestría/CursoConectividad/TrabajoFinal/Final2/Parque_Nacional_Da_Serra_Da_Capivara.shp") <-
MatrizRes
raster("C:/Users/psier/Documents/Universidad/Maestría/CursoConectividad/TrabajoFinal/Final2/HumanFootprint.tif") <-

raster_map <- as(MatrizRes, "SpatialPixelsDataFrame")
raster_map <- as.data.frame(raster_map)
colnames(raster_map) <- c("value", "x", "y")

ggplot() +
  geom_tile(data = raster_map, aes(x = x, y = y, fill = value), alpha = 0.8) +
  geom_sf(data = Paisaje, aes(color = "Study area"), fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = AreaProt, show.legend = "TRUE", aes(color= "Serra Da Capivara"), fill = "antiquewhite3") +
  geom_sf(data = Nodos, aes(color = "Parches"), fill = "forestgreen", linewidth = 0.5) +
  scale_fill_gradientn(colors = c("#000004FF", "#1B0C42FF", "#4B0C6BFF", "#781C6DFF",
                                 "#A52C60FF", "#CF4446FF", "#ED6925FF", "#FB9A06FF",
                                 "#F7D03CFF", "#FCFFA4FF"))+
  scale_color_manual(name = "", values = "black")+
  theme_minimal() +
  theme(axis.title.x = element_blank(),
        axis.title.y = element_blank())

```

```
#Estimaré el área del paisaje y del área protegida para tener presente la extensión y confirmar la  
##precisión de los datos con los que se trabaja
```

```
area_prot <- st_area(AreaProt)  
area_prot <- unit_convert(area_prot, "m2", "ha")  
  
area_paisaje <- st_area(Paisaje)  
area_paisaje <- unit_convert(area_paisaje, "m2", "ha")
```

```
#Realizré la estimación de los primeros índices para la ejecución del análisis. La primera  
#fórmula será laProbabilidad de COnectividad
```

```
PC <- MK_dPCIIC(nodes = Nodos,  
                  attribute = NULL,  
                  area_unit = "ha",  
                  distance = list(type = "least-cost",  
                                 resistance = MatrizRes),  
                  LA = Paisaje,  
                  overall = FALSE,  
                  metric = "PC",  
                  probability = 0.5,  
                  distance_thresholds = 2000,  
                  parallel = 3,  
                  intern = TRUE) #El rango de dispersión obedece al caluclado para el Tapirus  
#terrestris en Brasil según el artículo de Wandembruck et al., 2023 <- 2km
```

```
##Exploramos los primeros resultados
```

```
library(classInt)  
library(dplyr)
```

```
breaksdPC <- classInt::classIntervals(PC$dPC, n = 9, style = "jenks")
```

```

PC <- PC %>%  

  mutate(dPC_q = cut(dPC,  

    breaks = breaksdPC$brks,  

    include.lowest = TRUE,  

    dig.lab = 5))  
  

ggplot() +  

  geom_sf(data = Paisaje, fill = NA, color = "black") +  

  geom_sf(data = AreaProt, show.legend = "TRUE", aes(color= "Serra Da Capivara"), fill = "antiquewhite3")  

+  

  geom_sf(data = PC, aes(fill = dPC_q), color = "black", size = 0.1) +  

  scale_fill_brewer(palette = "RdYlGn", direction = 1, name = "dPC (jenks)") +  

  theme_minimal() +  

  labs(  

    title = "dPC",  

    fill = "dPC"  

  ) +  

  theme(  

    legend.position = "right",  

    plot.title = element_text(hjust = 0.5)  

  )  
  

##dPCflux  
  

breaksdPCFlux <- classInt::classIntervals(PC$dPCflux, n = 9, style = "jenks")  
  

PC <- PC %>%  

  mutate(dPC_q = cut(dPCflux,  

    breaks = breaksdPCFlux$brks,  

    include.lowest = TRUE,  

    dig.lab = 5))  
  

ggplot() +

```

```

geom_sf(data = Paisaje, fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = AreaProt, show.legend = "TRUE", aes(color= "Serra Da Capivara"), fill = "antiquewhite3")
+
  geom_sf(data = PC, aes(fill = dPC_q), color = "black", size = 0.1) +
  scale_fill_brewer(palette = "RdYlGn", direction = 1, name = "dPCFlux (jenks)") +
  theme_minimal() +
  labs(
    title = "dPCFlux",
    fill = "dPCFlux"
  ) +
  theme(
    legend.position = "right",
    plot.title = element_text(hjust = 0.5)
  )
##Ahora será trabajado el componente de corredores ecológicos. Por lo tanto, será
###aplicada la función MK_dPCIIC_Links().

```

```

library(purrr)
library(gdistance)

MatrizRes[is.na(MatrizRes)] <- 1000

```

```

#Estimamos la matriz de transición
tr <- transition(MatrizRes, function(x) 1/mean(x), 8)

```

```

#Hacemos una corrección para los movimientos en diagonal
tr <- geoCorrection(tr, type = "c")

```

```

#Seleccionaré los primeros 100 resultados según el índice dPC.
head(PC)
#Ordenar parches por valor dPC y seleccionar los 100 más importantes
dPC_top100 <- PC %>%
  dplyr::arrange(desc(dPC)) %>%
  dplyr::slice(1:100)

```

```

ggplot() +
  geom_sf(data = Paisaje, aes(color = "Study area"), fill = NA, linewidth = 0.5) +
  geom_sf(data = AreaProt, aes(color= "Serra Da Capivara"), fill = "burlywood", linewidth = 0.5) +
  geom_sf(data = Nodos, aes(color = "Parches"), fill = "forestgreen", linewidth = 0.5) +
  geom_sf(data = dPC_top100, aes(color = "TOP 100"), fill = "red", linewidth = 0.4) +
  scale_color_manual(
    name = "",
    values = c(
      "Study area" = "black",
      "Serra Da Capivara" = "brown",
      "Parches" = "darkgreen",
      "TOP 100" = "red"
    )
  ) +
  theme_minimal() +
  labs(
    title = "100 Parches que más aportan a la conectividad",
    fill = "100 Parches que más aportan a la conectividad"
  ) +
  theme(
    plot.title = element_text(hjust = 0.5)
  )

```

```

#Estimamos el centroide de los primeros 100 parches que apaortan a la conectividad según el
#dPc
centroides <- st_centroid(dPC_top100, of_largest_polygon = TRUE)
centroides <- st_coordinates(centroides)

```

```

#Loop para estimar corredores entre parches
rutas_list <- list()
counter <- 1
for (i in 1:(nrow(centroides) - 1)) {

```

```

cat(paste0(i, " de ", nrow(centroides), "\r"))

counter <- 1

rutas <- map_dfr((i + 1):nrow(centroides), function(j){

  if(counter <= nrow(centroides)){
    ruta <- shortestPath(tr, centroides[i,], centroides[j,], output = "SpatialLines")
    ruta <- st_as_sf(ruta); st_crs(ruta) <- st_crs(dPC_top100)
    ruta$from <- i ; ruta$to <- j
    return(ruta)
  }
})

rutas_list[[i]] <- rutas
}
}

rutas_mc <- do.call(rbind, rutas_list)

```

#Verificamos graficando los resultados que recién obtuvimos.

```

ggplot() +
  geom_sf(data = Paisaje, fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = AreaProt, aes(color= "Serra Da Capivara"), fill = "antiquewhite3", linewidth = 0.5) +
  geom_sf(data = rutas_mc, aes(color = "corredores"), color = "black", linewidth = 0.5) +
  geom_sf(data = dPC_top100, aes(color = "Habitat nodes"),
         fill = "forestgreen", color = NA, linewidth = 0.5) +
  theme_minimal() +
  labs(
    title = "Corredores potenciales"
  ) +
  theme(
    plot.title = element_text(hjust = 0.5)
  )

```

###Ahora continuamos con el análisis:

```
#Distancia efectiva promedio como umbral de distancia  
Effec_mean <- mean(MatrizRes[], na.rm = TRUE) * 2000 #2KM
```

```
#Aplicamos la función  
DeltaCor <- MK_dPCIIC_links(nodes = dPC_top100,  
                                attribute = NULL,  
                                area_unit = "ha",  
                                distance = list(type = "least-cost",  
                                                resistance = MatrizRes),  
                                removal = TRUE,  
                                metric = "PC",  
                                probability = 0.5,  
                                distance_thresholds = round(Effec_mean),  
                                parallel = 3,  
                                intern = TRUE)
```

```
DeltaCor
```

```
#Unimos los resultados de la función con las rutas de menor costo. Primero se cre el ID  
#similar para las dos tablas
```

```
DeltaCor$ID_nuevo <- paste0(DeltaCor$Destination, "_", DeltaCor$Source)
```

```
#Guardo las rutas en un objeto nuevo para tener de respaldo mi vector original  
rutas_mc2 <- rutas_mc  
rutas_mc2$ID_nuevo <- paste0(rutas_mc2$from, "_", rutas_mc$to)
```

```
#Aplicar merge  
rutas_mc2 <- merge(rutas_mc2, DeltaCor, by = "ID_nuevo")  
  
rutas_mc2
```

```

###Ahora se grafican los resultados. Para ello, seleccionare los top 20 corredores

Corredores_top60 <- rutas_mc2 %>%
  dplyr::arrange(desc(dPC_removal)) %>%
  dplyr::slice(1:60)

breaks <- classInt::classIntervals(Corredores_top60$dPC_removal, n = 5, style = "quantile")

# Crear una nueva variable categórica con los intervalos

Corredores_top60 <- Corredores_top60 %>%
  mutate(dPC_q = cut(dPC_removal,
                     breaks = breaks$brks,
                     include.lowest = TRUE,
                     dig.lab = 5))

# Graficar usando ggplot2 y colores de ColorBrewer

ggplot() +
  geom_sf(data = Paisaje, fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = AreaProt, aes(color= "Serra Da Capivara"), fill = "antiquewhite3", linewidth = 0.5) +
  geom_sf(data = Corredores_top60, aes(color = dPC_q), size = 0.5, linewidth = 1) +
  scale_color_brewer(palette = "Purples", direction = -1, name = "dPC remove (Q)") +
  geom_sf(data = dPC_top100, aes(color = "Habitat nodes"),
         fill = "forestgreen", color = NA, linewidth = 0.5) +
  theme_minimal() +
  labs(
    title = "Priorización de enlaces (remove)",
    fill = "dPC"
  ) +
  theme(
    legend.position = "right",
    plot.title = element_text(hjust = 0.5)
  )

```