

Trabajo Final - Curso: Enfoques, métodos y herramientas para el análisis de la conectividad ecológica

1. Introducción

La fragmentación de hábitats constituye una de las principales amenazas para la biodiversidad en paisajes agrícolas. En la región pampeana argentina, el avance de la agricultura ha generado la reducción y aislamiento de parches naturales, lo que afecta directamente a la fauna asociada y, entre ellos, a los insectos polinizadores. Estos organismos son fundamentales para la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de la productividad agrícola. Por lo que, la conectividad funcional entre parches de hábitat adquiere aún más relevancia, ya que determina la capacidad de dispersión de las especies y el flujo de procesos ecosistémicos. Es por eso que resulta de gran valor identificar aquellos parches de hábitat que cumplen funciones de conectores críticos para la conectividad ecológica.

En este trabajo analizaré la conectividad del paisaje agrícola en un sector de la región pampeana de la Provincia de Buenos Aires, particularmente me enfocaré en la relación entre una matriz agrícola y su entorno. La pregunta que me interesa responder para este estudio es la siguiente: ¿qué parches de hábitat contribuyen o limitan la conectividad del paisaje disponible para polinizadores como *Apis mellifera* y abejas nativas? Para responder a ello, utilizaré índices de conectividad mediante el uso del paquete Makurhini en R, y lo evaluaré a dos distancias de dispersión para estas especies de rangos de vuelo diferentes.

2. Metodología

El análisis se desarrolló en un área cercana a la ciudad de Carmen de Areco (Buenos Aires, Argentina), caracterizado por un mosaico agrícola dominado por cultivos extensivos (soja, maíz, trigo) intercalados con fragmentos de pastizales, pasturas y pequeños remanentes o parches de vegetación. Se seleccionó un campo agrícola que contiene varios lotes de cultivo extensivo como eje central y se delimitó un área de 6-7 km alrededor del mismo, con el fin de evaluar la conectividad de hábitats en el entorno inmediato del cultivo. Se emplearon datos espaciales vectoriales y ráster de cobertura de uso/cobertura de suelo extraído de MapBiomas (<https://argentina.mapbiomas.org/descargas/>) como insumos. Luego, fueron reclasificados en dos categorías: hábitat (pastizales, pasturas, remanentes naturales) y matriz agrícola (o hábitat antrópico). Estos datos fueron procesados en QGIS y R.

Para evaluar la conectividad y fragmentación se seleccionaron los dos siguientes índices: Índice de integral de conectividad (IIC) y sus particiones (dIIC, dIICintra, dIICflux, dIICConnector), e Índice de probabilidad de conectividad (PC) y sus particiones (dPC, dPCintra, dPCflux, dPCConnector). El umbral de dispersión se estableció para dos distancias: una a 2 km, en base a la literatura sobre rango de vuelo de abejas melíferas (*Apis mellifera*) y a 1 km para aquellas abejas nativas de rango de

vuelo de 1km o incluso menor (Beekman & Ratnieks, 2000; Hagler et al., 2011; Couvillon et al., 2014).

3. Resultados

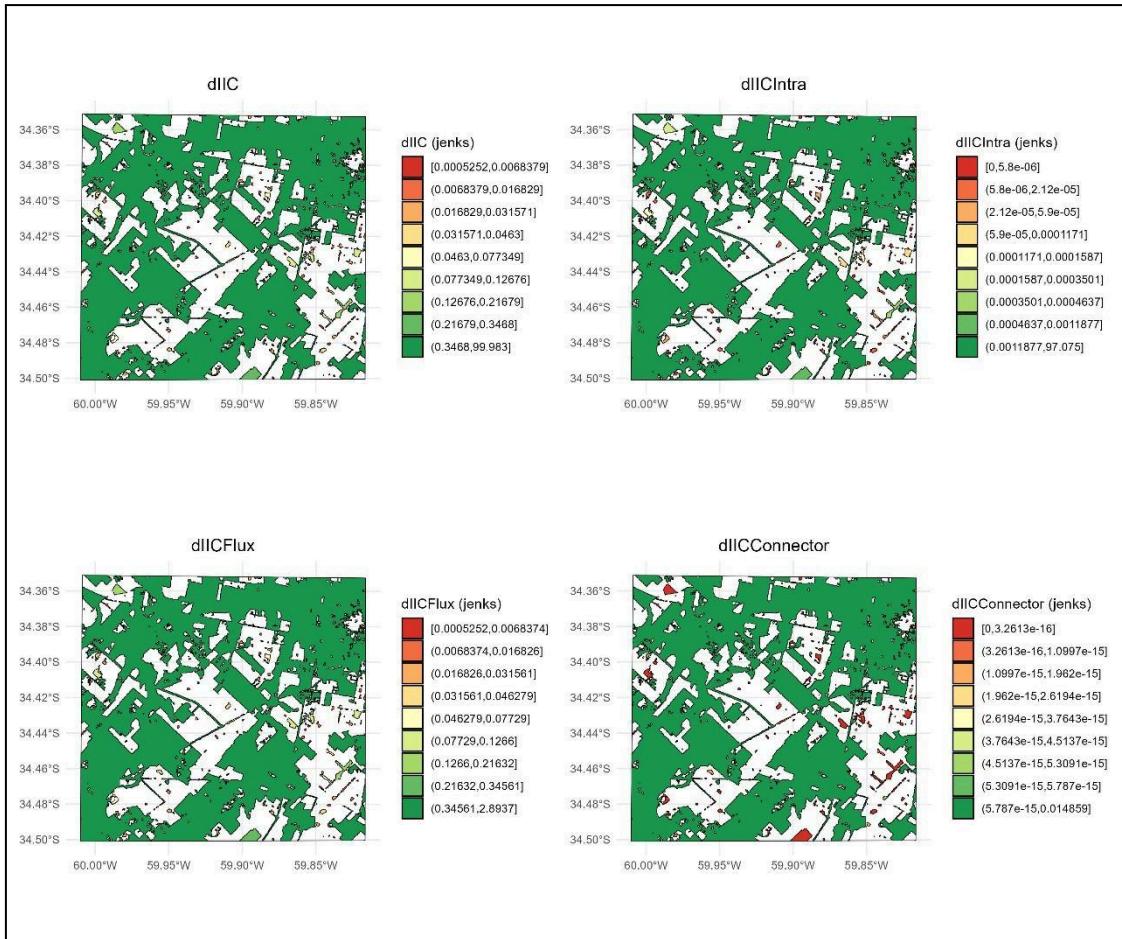


Fig. 1. Mapas de la contribución relativa de cada parche de bosque a la conectividad del paisaje en la región pampeana bonaerense (Argentina), evaluada mediante el Índice Integral de Conectividad (dlIC) y sus fracciones: dlICintra, dlICflux y dlICconnector, con un umbral de dispersión de 2.000 m. Los colores representan la clasificación de los valores en intervalos de Jenks, donde los tonos rojizos indican menor aporte y los tonos verdosos mayor importancia en la conectividad global.

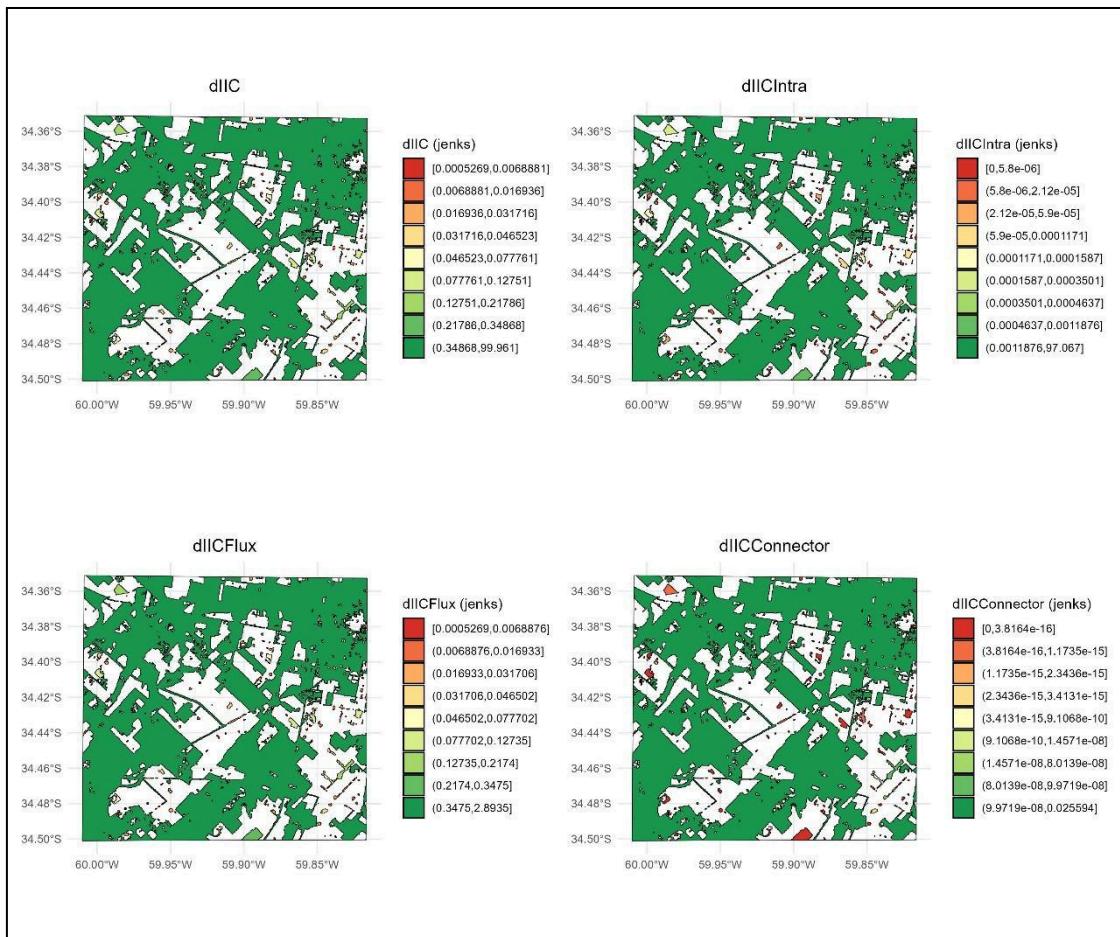


Fig. 2. Mapas de la contribución relativa de cada parche de bosque a la conectividad del paisaje en la región pampeana bonaerense (Argentina), evaluada mediante el Índice Integral de Conectividad (dIIC) y sus fracciones: dIICintra, dIICflux y dIICConnector, con un umbral de dispersión de 1.000 m. Los colores representan la clasificación de los valores en intervalos de Jenks, donde los tonos rojizos indican menor aporte y los tonos verdosos mayor importancia en la conectividad global.

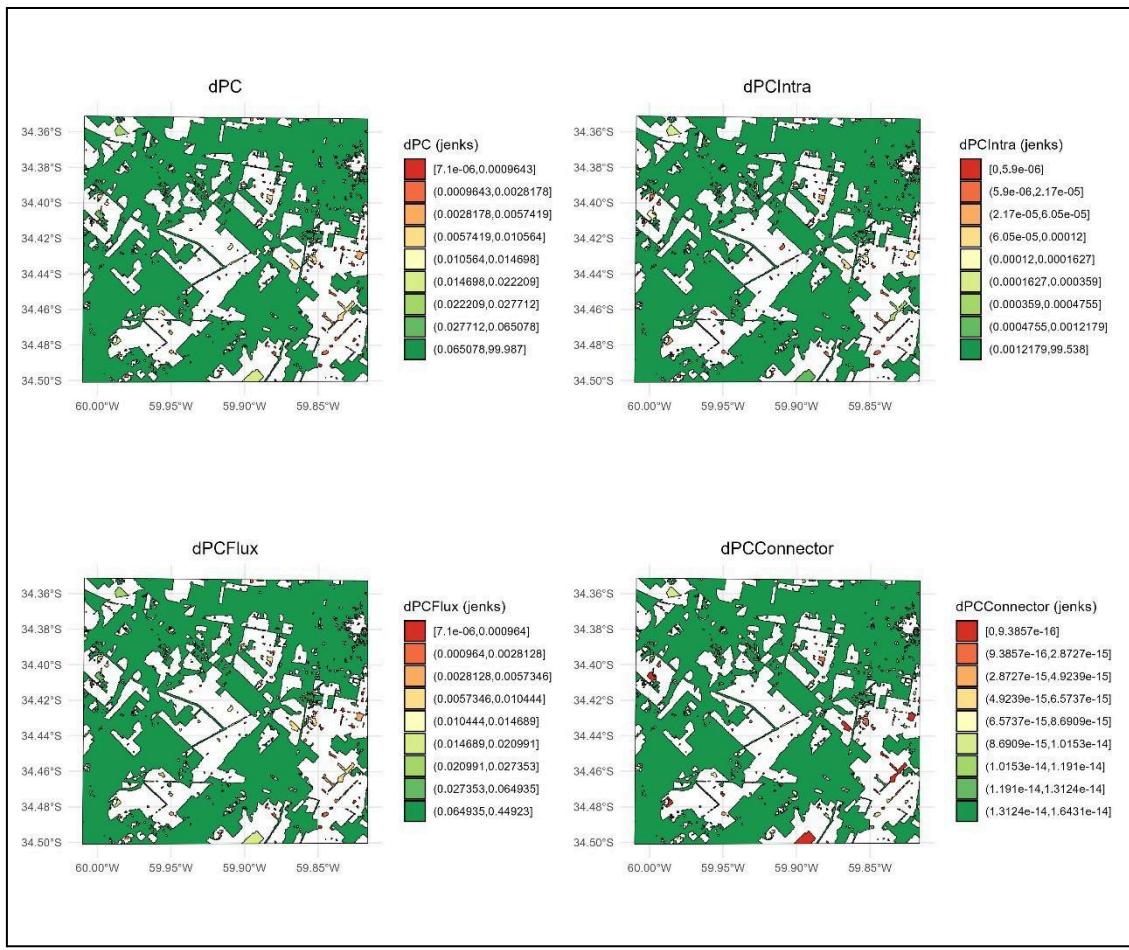


Fig. 3. Mapas de la contribución relativa de cada parche de bosque a la conectividad del paisaje en la región pampeana bonaerense (Argentina), evaluada mediante el índice de Probabilidad de Conectividad (dPC) y sus fracciones: dPCintra, dPCflux y dPCconnector, con un umbral de dispersión de 2.000 m y probabilidad de conectividad de 0,5. Los colores representan la clasificación de los valores en intervalos de Jenks, donde los tonos rojizos indican menor aporte y los tonos verdosos mayor importancia en la conectividad global.

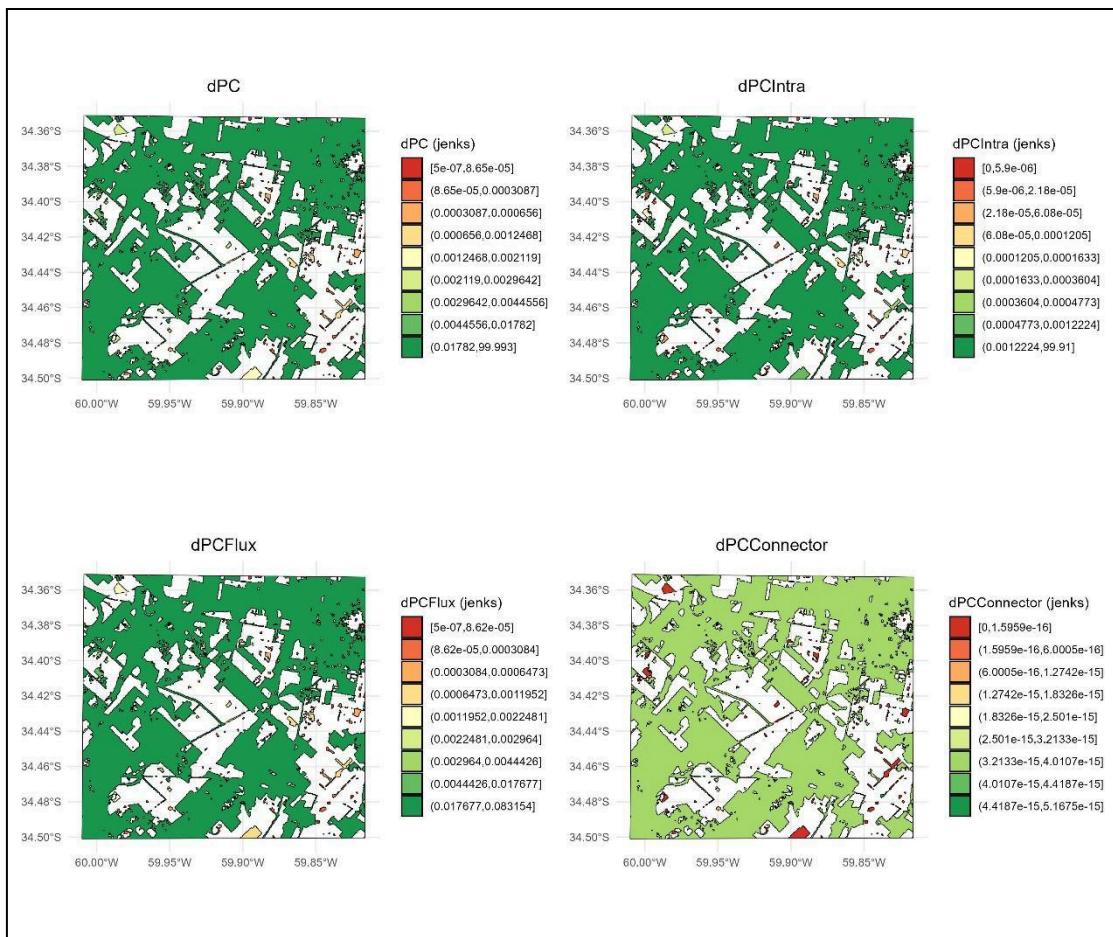


Fig. 4. Mapas de la contribución relativa de cada parche de bosque a la conectividad del paisaje en la región pampeana bonaerense (Argentina), evaluada mediante el índice de Probabilidad de Conectividad (dPC) y sus fracciones: dPCintra, dPCflux y dPCConnector, con un umbral de dispersión de 1.000 m y probabilidad de conectividad de 0,5. Los colores representan la clasificación de los valores en intervalos de Jenks, donde los tonos rojizos indican menor aporte y los tonos verdosos mayor importancia en la conectividad global.

4. Discusión

En los mapas de dIIC (Fig. 1 y Fig. 2) y dPC (Fig. 3 y Fig.4), y sus fracciones, los parches de hábitat que más aportan a la conectividad global del paisaje son los que aparecen en verde oscuro, según la clasificación Jenks. Estos parches funcionan como núcleos y puentes estratégicos, facilitando el flujo de especies entre zonas. Su desaparición generaría una pérdida significativa de conectividad, fragmentando la red y reduciendo la viabilidad poblacional, especialmente en especies de baja dispersión. La comparación entre los escenarios de 2 km y 1 km de distancia umbral evidencia un cambio sustancial en la relevancia de los parches como conectores dentro de la red de hábitat. A una escala de 2 km, correspondiente a especies con mayor capacidad de vuelo como *Apis mellifera*, la matriz mantiene un nivel relativamente alto de conectividad general y, por lo tanto, los valores de dIICConnector que son bajos, es porque ningún parche resulta crítico, dado que existen múltiples alternativas de conexión (Fig. 1). En cambio, al reducir la distancia umbral a 1 km, que representa el rango de dispersión de abejas nativas de menor movilidad, la conectividad general disminuye y emergen ciertos parches con valores más altos de dIICConnector (Fig. 2).

El hecho de que algunos parches se destaque con altos valores de dPCCConnector a 2 km muestra que, para especies con mayor capacidad de dispersión, existen nodos clave que sostienen la conectividad regional. Estos parches funcionan como "stepping stones" entre áreas distantes, de manera que su pérdida reduciría fuertemente la conectividad general del paisaje. En contraste, a 1 km de distancia de dispersión esos mismos parches ya no cumplen un rol relevante porque las conexiones de largo alcance desaparecen. La conectividad se vuelve más local y redundante, es decir, distribuida entre parches cercanos sin depender de unos pocos conectores críticos. Como limitación o posible mejora del estudio, me detendría en analizar la calidad de los parches de pasturas, dado que son muchos frente a otras categorías de hábitat, y puede que se esté sobreestimando la cantidad de parches con inferencia en la conectividad dentro de la red de hábitat desde una visión beneficiosa para los polinizadores. En algunos estudios se ha evaluado la composición de plantas entomófilas de bordes de ruta como medida de "calidad" para evaluar su aporte como parche de hábitat a la conectividad del paisaje (Santibañez et al., 2024).

5. Conclusión

Los resultados mostraron varias implicancias para la conservación y el manejo del paisaje. Por un lado, mediante el índice integral de conectividad (IIC) se pudo denotar que algunos parches se vuelven esenciales como "puentes" que sostienen la conectividad del paisaje, y por lo tanto se sugiere que su conservación es clave para garantizar la dispersión de especies, en este caso, de menor rango de vuelo. Es así que el análisis resalta la importancia de incorporar diferentes escalas de dispersión en la evaluación de conectividad, ya que la funcionalidad ecológica de los parches puede variar según la especie, en este caso, el grupo de polinizadores considerado.

Por otro lado, se observó con el índice de probabilidad de conectividad (PC) que, en términos ecológicos, conservar los parches identificados como "superconectores" a 2 km es fundamental para mantener la red de hábitats conectada para polinizadores de alto rango de vuelo. Sin embargo, para polinizadores de menor rango de vuelo, la conectividad depende más de la densidad y proximidad local de parches, y menos de nodos individuales. Esta diferencia resalta nuevamente la importancia de considerar la escala de dispersión de cada especie al planificar estrategias de conservación, ya que lo que es crítico para una especie puede no serlo para otra.

En términos de conservación, los resultados indican que no basta con proteger los parches más grandes: también es fundamental mantener aquellos que cumplen funciones de conectores críticos, pues su pérdida interrumpe rutas de dispersión. Tener en cuenta estas consideraciones favorecerá tanto la conectividad estructural como la funcional, aumentando la resiliencia del paisaje como su biodiversidad frente a la fragmentación.

Bibliografía

Beekman, M., & Ratnieks, F. L. W. (2000). Long-range foraging by the honey-bee, *Apis mellifera* L. *Functional Ecology*, 14(4), 490–496.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2000.00443.x>

Hagler, J. R., Mueller, S., Teuber, L. R., Machtley, S. A., & Van Deynze, A. (2011). Foraging range of honey bees, *Apis mellifera*, in alfalfa seed production fields. *Journal of Insect Science*, 11(1), 1–12. <https://doi.org/10.1673/031.011.14401>

Couvillon, M. J., Schürch, R., & Ratnieks, F. L. W. (2014). Waggle dance distances as integrative indicators of seasonal foraging challenges. PLoS ONE, 9(4), e93495. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093495>

Santibañez, F., Sabatino, M. & Garibaldi, L.A. (2024) Searching to improve connectivity in fragmented landscapes: Road verges as complementary habitats. Applied Vegetation Science, 27, e12773. <https://doi.org/10.1111/avsc.12773>

6. Material anexo

```
# Carga paquetes y los shapefiles Areas_protegidas.shp y Ecorregiones.shp:  
library(ggplot2)  
library(sf)  
library(terra)  
library(raster)  
library(Makurhini)  
library(RColorBrewer)  
library(rmapshaper)  
library(classInt)  
library(dplyr)  
  
# Defino escritorio:  
setwd("C:/Users/USER/Desktop/Cursos realizados/makurhini-25/clase_insumos/datos_ga")  
  
# Cargo archivos shp:  
area_estudio <- read_sf("C:/Users/USER/Desktop/Cursos  
realizados/makurhini-25/clase_insumos/datos_ga/ap_ga_5347_lpars.shp")  
habitat_polr <- read_sf("C:/Users/USER/Desktop/Cursos  
realizados/makurhini-25/clase_insumos/datos_ga/pampa_coverage_c4_2023_5347_reclass_gr  
ass_hab_lpars_pol.shp")  
  
##### Análisis #####  
  
# Gráfico de los parches de hábitat  
ggplot() +  
  geom_sf(data = habitat_polr, 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())  
  
# conversión a ha  
habitat_polr_area <- st_area(habitat_polr)  
habitat_polr_area <- unit_convert(habitat_polr_area, "m2", "ha")  
  
# Gráfico de parches de hábitat  
ggplot() +  
  geom_sf(data = area_estudio, aes(color = "Study area"), fill = NA, color = "black") +  
  geom_sf(data = habitat_polr, aes(color = "Parches de hábitat"), fill = "forestgreen", linewidth =  
  0.5) +  
  scale_color_manual(name = "", values = "black") +  
  theme_minimal() +  
  theme(axis.title.x = element_blank(),  
        axis.title.y = element_blank())
```

```
area_estudio_ha <- st_area(area_estudio)
area_estudio_ha <- unit_convert(area_estudio_ha, "m2", "ha")
```

```
##### IIC para 2km ######
```

```
IIC <- MK_dPCIIC(nodes = habitat_polr,
                  attribute = NULL,
                  area_unit = "ha",
                  distance = list(type = "edge", keep = 0.1),
                  LA = area_estudio_ha,
                  onlyoverall = FALSE,
                  metric = "IIC",
                  distance_thresholds = 2000,
                  intern = TRUE)
```

```
IIC
```

```
##### dIIC #####
```

"dIIC (delta Integral Index of Connectivity): mide la pérdida en conectividad estructural (basada en grafos binarios) al eliminar un parche. Aquí el umbral es de 10 km (dispersión máxima)."

```
# 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
```

```
g1_dIIC <- ggplot() +
  geom_sf(data = area_estudio, 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 #####
```

"Intra: importancia del parche por su área interna (calidad/hábitat)."

```
# 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
g2_dIIC <- ggplot() +
  geom_sf(data = area_estudio, 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 #####
"Flux: importancia como fuente de flujo (conectividad directa)."

# 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
g3_dIIC <- ggplot() +
  geom_sf(data = area_estudio, 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 #####
"Connector: importancia como "puente" entre parches (efecto stepping stone)."

# 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
g4_dIIC <- ggplot() +
  geom_sf(data = area_estudio, 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)
  )

# Gráfico de 4 paneles

library(patchwork)

graficos_4_dIIC <- (g1_dIIC | g2_dIIC) / (g3_dIIC | g4_dIIC)
graficos_4_dIIC

ggsave("tf_graficos_4_dIIC.jpg", graficos_4_dIIC, width = 12, height = 10, dpi = 300)

##### PC para 2km #####
# Calcular PC y obtener fracciones dPC, dPCintra, dPCflux, dPCconnector

PC <- MK_dPCIIC(
  nodes = habitat_polr,
  attribute = NULL,
  area_unit = "ha",
  distance = list(type = "centroid"),
  LA = area_estudio_ha,
  onlyoverall = FALSE,
  metric = "PC",
  distance_thresholds = 2000, # 2 km
  probability = 0.5,       # mediana de dispersión
  intern = TRUE
)
PC

##### dPC #####
"dPC (delta Probability of Connectivity): mide cuánto disminuye la probabilidad de conectividad del paisaje si eliminamos un parche. Está basado en un modelo probabilístico (PC) que integra tamaño de parches, distancias y probabilidad de movimiento (acá con 10 km y p = 0.5)."

# Calcular los intervalos de Jenks para strength
breaks_PC <- 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_PC$brks,
include.lowest = TRUE,
dig.lab = 5))

# Graficar en ggplot2 usando las clases Jenks
g1_dPC <- ggplot() +
  geom_sf(data = area_estudio, 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 #####
"Intra: importancia del parche por su área interna (calidad/hábitat)."

# Calcular los intervalos de Jenks para strength
breaks_PC <- 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_PC$brks,
                     include.lowest = TRUE,
                     dig.lab = 5))

# Graficar en ggplot2 usando las clases Jenks
g2_dPC <- ggplot() +
  geom_sf(data = area_estudio, 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 #####
"Flux: importancia como fuente de flujo (conectividad directa)."

# Calcular los intervalos de Jenks para strength
breaks_PC <- 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_PC$brks,
include.lowest = TRUE,
dig.lab = 5))

# Graficar en ggplot2 usando las clases Jenks
g3_dPC <- ggplot() +
  geom_sf(data = area_estudio, 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 #####
"Connector: importancia como "puente" entre parches (efecto stepping stone)."

# Calcular los intervalos de Jenks para strength
breaks_PC <- 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_PC$brks,
                     include.lowest = TRUE,
                     dig.lab = 5))

# Graficar en ggplot2 usando las clases Jenks
g4_dPC <- ggplot() +
  geom_sf(data = area_estudio, 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)
  )

# Gráfico de 4 paneles
graficos_4_dPC <- (g1_dPC | g2_dPC) / (g3_dPC | g4_dPC)
graficos_4_dPC

ggsave("tf_graficos_4_dPC.jpg", graficos_4_dPC, width = 12, height = 10, dpi = 300)

-----
##### IIC para 1km #####
IIC1 <- MK_dPCIIC(nodes = habitat_polr,

```

```

attribute = NULL,
area_unit = "ha",
distance = list(type = "edge", keep = 0.1),
LA = area_estudio_ha,
onlyoverall = FALSE,
metric = "IIC",
distance_thresholds = 1000,
intern = TRUE)
IIC1

##### dIIC #####
"diIC (delta Integral Index of Connectivity): mide la pérdida en conectividad estructural (basada en grafos binarios) al eliminar un parche. Aquí el umbral es de 10 km (dispersión máxima)."

# Calcular los intervalos de Jenks para strength
breaks1 <- classInt::classIntervals(IIC1$dIIC, n = 9, style = "jenks")

# Crear una nueva variable categórica con los intervalos
IIC1 <- IIC1 %>%
  mutate(dIIC_q = cut(dIIC,
    breaks = breaks1$brks,
    include.lowest = TRUE,
    dig.lab = 5))

# Graficar en ggplot2 usando las clases Jenks
g1_dIIC1 <- ggplot() +
  geom_sf(data = area_estudio, fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = IIC1, 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 #####
"Intra: importancia del parche por su área interna (calidad/hábitat)."

# Calcular los intervalos de Jenks para strength
breaks1 <- classInt::classIntervals(IIC1$dIICintra, n = 9, style = "jenks")

# Crear una nueva variable categórica con los intervalos
IIC1 <- IIC1 %>%
  mutate(dIIC_q = cut(dIICintra,
    breaks = breaks1$brks,
    include.lowest = TRUE,
    dig.lab = 5))

# Graficar en ggplot2 usando las clases Jenks
g2_dIIC10 <- ggplot() +

```

```

geom_sf(data = area_estudio, fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = IIC1, 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 #####
"Flux: importancia como fuente de flujo (conectividad directa)."

# Calcular los intervalos de Jenks para strength
breaks1 <- classInt::classIntervals(IIC1$dIICflux, n = 9, style = "jenks")

# Crear una nueva variable categórica con los intervalos
IIC1 <- IIC1 %>%
  mutate(dIIC_q = cut(dIICflux,
                      breaks = breaks1$brks,
                      include.lowest = TRUE,
                      dig.lab = 5))

# Graficar en ggplot2 usando las clases Jenks
g3_dIIC10 <- ggplot() +
  geom_sf(data = area_estudio, fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = IIC1, 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 #####
"Connector: importancia como “puente” entre parches (efecto stepping stone)."

# Calcular los intervalos de Jenks para strength
breaks1 <- classInt::classIntervals(IIC1$dIICconnector, n = 9, style = "jenks")

# Crear una nueva variable categórica con los intervalos
IIC1 <- IIC1 %>%
  mutate(dIIC_q = cut(dIICconnector,
                      breaks = breaks1$brks,
                      include.lowest = TRUE,
                      dig.lab = 5))

# Graficar en ggplot2 usando las clases Jenks
g4_dIIC1 <- ggplot() +

```

```

geom_sf(data = area_estudio, fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = IIC1, 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)
  )
}

# Gráfico de 4 paneles

library(patchwork)

graficos_4_dIIC1 <- (g1_dIIC | g2_dIIC) / (g3_dIIC | g4_dIIC1)
graficos_4_dIIC1

ggsave("tf_graficos_4_dIIC1.jpg", graficos_4_dIIC1, width = 12, height = 10, dpi = 300)

##### PC para 1km #####
# Calcular PC y obtener fracciones dPC, dPCintra, dPCflux, dPCconnector

PC1 <- MK_dPCIIC(
  nodes = habitat_polr,
  attribute = NULL,
  area_unit = "ha",
  distance = list(type = "centroid"),
  LA = area_estudio_ha,
  onlyoverall = FALSE,
  metric = "PC",
  distance_thresholds = 1000, # 1 km
  probability = 0.5, # mediana de dispersión
  intern = TRUE
)
PC1

##### dPC #####
"dPC (delta Probability of Connectivity): mide cuánto disminuye la probabilidad de conectividad del paisaje si eliminamos un parche. Está basado en un modelo probabilístico (PC) que integra tamaño de parches, distancias y probabilidad de movimiento (acá con 10 km y p = 0.5)."

# Calcular los intervalos de Jenks para strength
breaks_PC1 <- classInt::classIntervals(PC1$dPC, n = 9, style = "jenks")

# Crear una nueva variable categórica con los intervalos
PC1 <- PC1 %>%
  mutate(dPC_q = cut(dPC,
                     breaks = breaks_PC1$brks,
                     include.lowest = TRUE,
                     dig.lab = 5))

# Graficar en ggplot2 usando las clases Jenks
g1_dPC1 <- ggplot() +

```

```

geom_sf(data = area_estudio, fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = PC1, 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 #####
"Intra: importancia del parche por su área interna (calidad/hábitat)."

# Calcular los intervalos de Jenks para strength
breaks_PC1 <- classInt::classIntervals(PC1$dPCintra, n = 9, style = "jenks")

# Crear una nueva variable categórica con los intervalos
PC1 <- PC1 %>%
  mutate(dPC_q = cut(dPCintra,
                     breaks = breaks_PC1$brks,
                     include.lowest = TRUE,
                     dig.lab = 5))

# Graficar en ggplot2 usando las clases Jenks
g2_dPC1 <- ggplot() +
  geom_sf(data = area_estudio, fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = PC1, 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 #####
"Flux: importancia como fuente de flujo (conectividad directa)."

# Calcular los intervalos de Jenks para strength
breaks_PC1 <- classInt::classIntervals(PC1$dPCflux, n = 9, style = "jenks")

# Crear una nueva variable categórica con los intervalos
PC1 <- PC1 %>%
  mutate(dPC_q = cut(dPCflux,
                     breaks = breaks_PC1$brks,
                     include.lowest = TRUE,
                     dig.lab = 5))

# Graficar en ggplot2 usando las clases Jenks
g3_dPC1 <- ggplot() +

```

```

geom_sf(data = area_estudio, fill = NA, color = "black") +
geom_sf(data = PC1, 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 #####
"Connector: importancia como "puente" entre parches (efecto stepping stone)."

# Calcular los intervalos de Jenks para strength
breaks_PC1 <- classInt::classIntervals(PC1$dPCconnector, n = 9, style = "jenks")

# Crear una nueva variable categórica con los intervalos
PC1 <- PC1 %>%
  mutate(dPC_q = cut(dPCconnector,
                     breaks = breaks_PC1$brks,
                     include.lowest = TRUE,
                     dig.lab = 5))

# Graficar en ggplot2 usando las clases Jenks
g4_dPC1 <- ggplot() +
  geom_sf(data = area_estudio, fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = PC1, 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)
)

# Gráfico de 4 paneles
graficos_4_dPC1 <- (g1_dPC1 | g2_dPC1) / (g3_dPC1 | g4_dPC1)
graficos_4_dPC1

ggsave("tf_graficos_4_dPC1.jpg", graficos_4_dPC1, width = 12, height = 10, dpi = 300)

```