

# TRABAJO FINAL - CURSO: ENFOQUES, MÉTODOS Y HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS DE LA CONECTIVIDAD ECOLÓGICA

Alumna: Clarita Rodríguez Soto

## CONECTIVIDAD Y FRAGMENTACIÓN DEL ESTADO DE MÉXICO

### 1. Introducción

El cambio climático y la protección de áreas para la conservación es un tema central para la planeación ambiental a nivel internacional, nacional y estatal, se han creado diversas instancias (gubernamentales y no gubernamentales), estrategias e instituciones de investigación, con el fin de tener un mayor éxito en la mitigación de nuestros impactos y en la adaptación a los cambios posibles (CONANP, 2010). A pesar de lo anterior, es poca la información con que se cuenta sobre los efectos que el cambio climático podría tener sobre los individuos de fauna y flora, sus poblaciones, comunidades biológicas, especies y sobre los ecosistemas que las albergan (Pounds, Fogden, & Campbell, 2000).

La concentración de la población y expansión de los asentamientos humanos en el Estado de México, ejercen una gran presión sobre los recursos naturales y generan vulnerabilidad ante las variaciones climáticas. Los escenarios de cambio climático a nivel nacional que se proyectan para el 2050, exceden por mucho la habilidad de muchas especies de adaptarse a dichos cambios; ya que dichos procesos requieren de miles de años para llevarse a cabo de manera natural. Por tanto, algunos tipos de vegetación tienden a desaparecer; impactando significativamente en la biodiversidad y la oferta de servicios ecosistémicos. Algunos de los bosques más afectados por estos procesos se encuentran en el Estado de México, entre ellos destacan los bosques de pino, encino, mesófilo de montaña, **oyamel**, así como la vegetación acuática.

Recientemente Rodríguez-Soto et al. (2022), Rodríguez-Soto et al. (2019), Moreno et al. (2020), Chacón et al. (2021) y Juárez-Ramírez (2025); han analizado desde diferentes enfoques, las condiciones, amenazas y vulnerabilidad de las ANP del Estado de México, así como la representatividad de estas para conservar la diversidad de vertebrados tomando en cuenta el cambio climático. Sin embargo, aún no se ha estudiado su conectividad actual ni futura. El objetivo del ejercicio es generar escenarios geoespaciales del efecto del cambio climático en la conectividad ecológica y la fragmentación del Estado de México. Se espera encontrar una mayor conectividad en toda la región sur del Estado de México, así como en las tres franjas montañosas que lo cruzan.

### 2. Metodología

#### *Descripción del área de estudio*

El Estado de México (Edomex) es una entidad federativa en el centro de México, con capital en Toluca de Lerdo, y limita con la Ciudad de México, así como con otros estados de la

república. Es el estado más poblado de México y un motor económico importante, con dos tercios de su población concentrados en la Zona Metropolitana del Valle de México. Se fundó en 1824 y se organiza en 125 municipios, cada uno con su gobierno y base política.

Localización: Se sitúa en el centro-sur de México, rodeando casi por completo a la Ciudad de México.

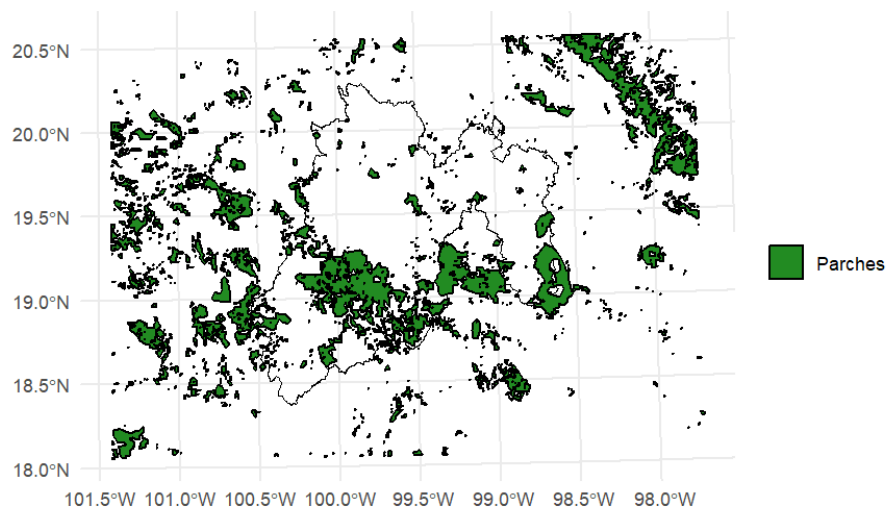
Límites: Limita al norte con Querétaro e Hidalgo; al este con Tlaxcala; al sureste con Puebla; al sur con Morelos y la Ciudad de México; al suroeste con Guerrero; y al oeste con Michoacán.

Extensión: Posee una superficie de 22,357 km<sup>2</sup>.

#### *Datos*

Los parches de hábitat que se usaron en este ejercicio son resultado de un análisis de priorización espacial generado para el Estado de México. Se generó y filtro una base de datos de la presencia de 4,049 especies, de las cuales se seleccionaron 1,067 especies clave para analizar efectos de cambio climático en el Estado de México, a partir de información georreferenciadas en fuentes oficiales como GBIF y el SNIB de la CONABIO. Se integran datos de hongos, plantas, invertebrados y vertebrados. Se modeló el nicho ecológico y la distribución potencial actual y futura (2011-2040 y 2041-2070) de las 1,067 especies clave, a través del algoritmo de máxima entropía.

Posteriormente, se realizaron mapas ensamblados que representen la riqueza potencial de especies actual y futura (ante diferentes escenarios de cambio climático), a través del software de planeación sistemática Zonation (V5, Moilanen 2022). Los parches representan 222 polígonos con características adecuadas para que muchas de las especies seleccionadas puedan sobrevivir. Esta priorización ya excluye aquellas áreas con perturbación ambiental que pueden limitar el paso de las especies (Figura 1).



**Figura 1.** Área de estudio y parches de hábitat prioritarios para la conservación de la biodiversidad del Estado de México.

### *Índice(s) de conectividad/fragmentación seleccionados*

En este ejercicio se usó el paquete de R Makurhini (que significa Conectar en lengua purépecha), diseñado para calcular índices de fragmentación y conectividad del paisaje, útiles en la planificación de la conservación (Godínez-Gómez, et al., 2025).

Se seleccionaron algunos índices de conectividad y fragmentación sencillos del programa con el fin de explorar de manera inicial las condiciones del área de estudio. Se enuncian a continuación los análisis aplicados:

#### **MK\_Fragmentation:**

La función se usa para caracterizar la composición y la configuración espacial de los parches en nuestro paisaje. La función calcula ocho métricas a nivel de nodo (como el área de nodo, el porcentaje de borde y la dimensión fractal) y 13 estadísticas de fragmentación a nivel de paisaje (como el número de nodos, el tamaño medio, la densidad de borde y el tamaño efectivo de la malla). En este ejercicio solo se reportan algunas métricas de parches y de paisaje como: área, perímetro, forma, % de área núcleo, cority e índice MESH.

#### **Índice integral de conectividad (IIC) y Probabilidad de conectividad (PC):**

La función calcula tanto la conectividad global del paisaje como la importancia (contribución) de cada nodo (o parche de hábitat) para mantener la conectividad del paisaje. Utiliza los índices PC e IIC bajo uno o varios umbrales de distancia.

#### **Protected Connected indicator (ProtConn):**

ProtConn es un índice que ayuda a medir qué tan bien conectadas están las áreas protegidas, como parques nacionales o reservas, a nivel local, regional o mundial. Este indicador, creado por Saura y otros (2017, 2018), se usa mucho para evaluar el progreso en metas globales, como la del Marco Mundial de Biodiversidad de Kunming-Montreal (objetivo 3). Este objetivo dice que para 2030, al menos el 30 % de las tierras y mares deben estar protegidos y gestionados de manera efectiva, con áreas que representen bien los ecosistemas, estén bien conectadas entre sí y se manejen de forma justa.

En este caso se incluyen las ANP estatales y Federales del Estado de México. Considerando como límite de interés (en el ejercicio denominado ecorregión) el límite del Estado de México.

### *Parámetros y configuraciones aplicadas*

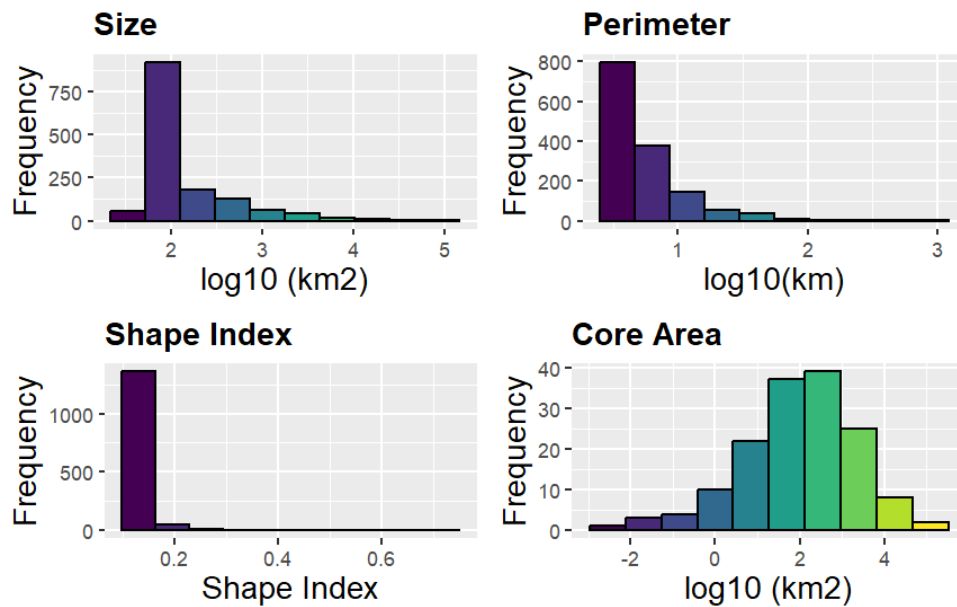
Se consideran distancias de borde de **1000 ha** y un área mínima de parche de 1000 ha.

En los índices se consideró un umbral de dispersión de 5 km considerando que **son distancias a las cuales las especies de plantas seleccionadas podrían** dispersarse.

## 2. Resultados:

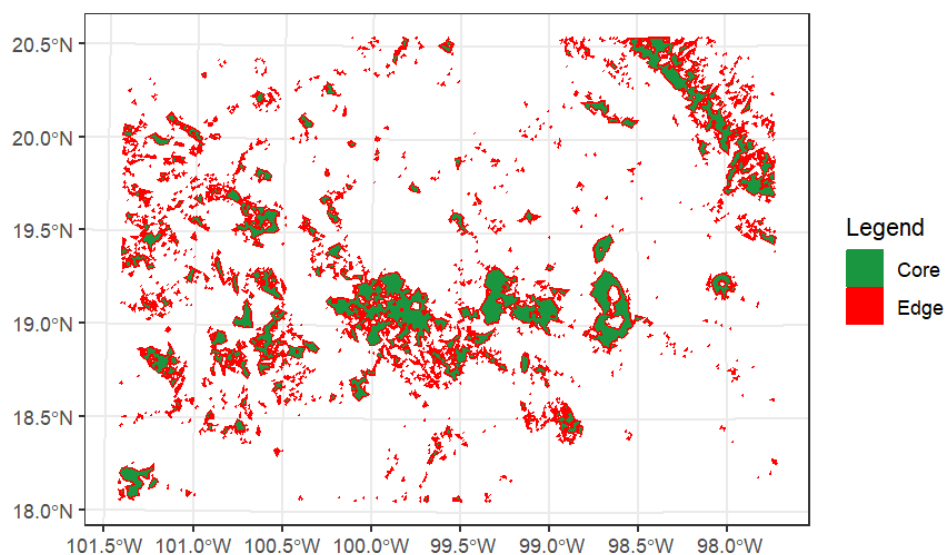
### MK\_Fragmentation

Los resultados muestran que la mayoría de los parches tienen un tamaño aproximado de 2 km. Otro elemento importante es que la mayoría de los parches tiene entre 2 y 4 km<sup>2</sup> (Figura 2).



**Figura 2.** Estadísticos de parche.

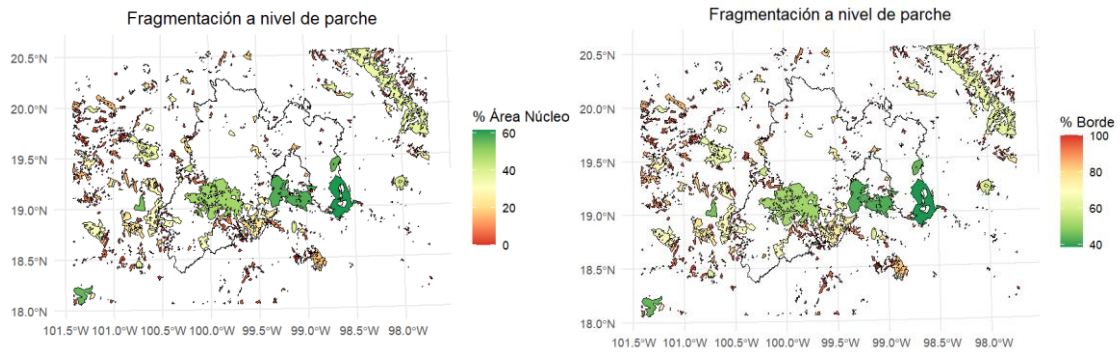
La mayor parte de los parches de buen tamaño y con suficiente área núcleo se encuentran en el centro del área de estudio (región centro sur del Estado de México; Figura 3).



**Figura 3.** Área núcleo y borde de los parches de hábitat.

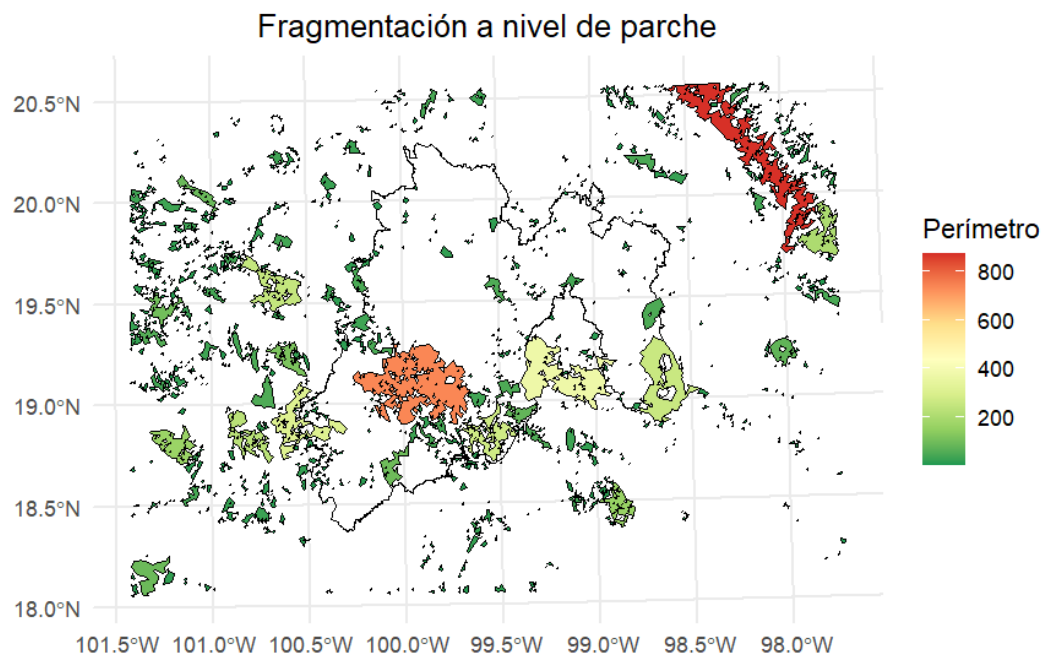
### % de área núcleo

Los parches con mayor porcentaje de área núcleo y con mayor borde se ubican en el Popocatepetl e Iztaccíhuatl, al centro Sur del estado de México alrededor del Nevado de Toluca, así como en la zona de Malinalco y Zumpahuacán, así como al norte de la ciudad de México. En el Estado de Morelos y sur del Ciudad de México hay parches importantes para la conectividad regional (Figura 4).



**Figura 4.** Fragmentación a nivel de parche (izquierda % de área núcleo, derecha % de borde)

Dentro del Edo. Méx el parche con más perímetro se ubica alrededor del Nevado de Toluca (Figura 5).



**Figura 5.** Fragmentación a nivel de parche: perímetro.

Estadísticos a nivel de paisaje: Se puede mencionar que el promedio en el tamaño de los parches es de 808, por tanto, la mayoría son parches pequeños. De este análisis podemos resaltar el estadístico cority, que muestra que el paisaje si se encuentra fragmentado sobre todo en la zona norte del área de estudio (Cuadro 1).

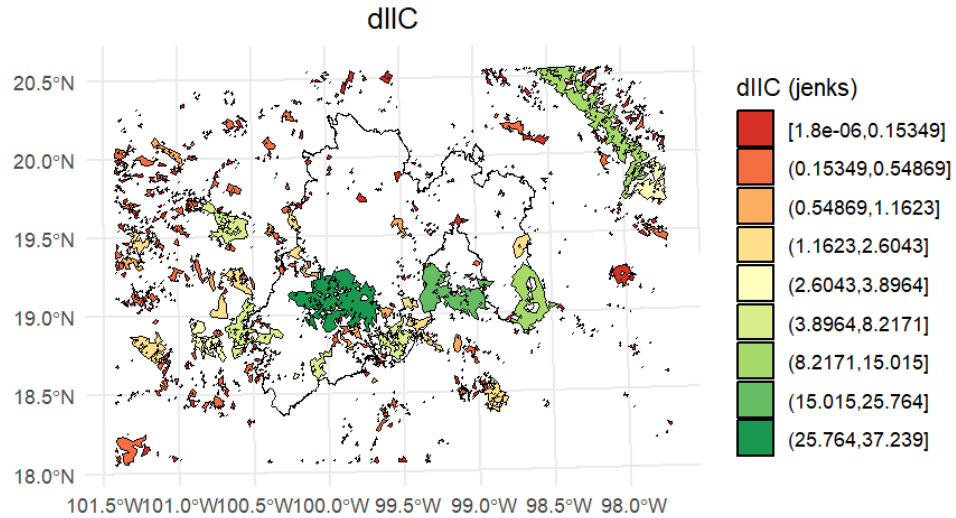
***Cuadro 1. Estadísticos a nivel de paisaje.***

<b>Metric</b>	<b>Value</b>
Patch area (ha)	1156948.5142
Number of patches	1431.0000
Size (mean)	808.4895
Patches < minimum patch area	1317.0000
Patches < minimum patch area (%)	16.2367
Total edge	13889.0500
Edge density	0.0120
Patch density	0.0644
Total Core Area (ha)	346776.4886
Cority	0.1055
Shape Index (mean)	0.1359
FRAC (mean)	0.6713
MESH (ha)	25101.0535

El índice MESH obtenido muestra la facilidad que tendrían las especies de moverse a través del paisaje, en este caso el índice es del 98.87%, lo cual es un buen indicador de conectividad.

## dIIC

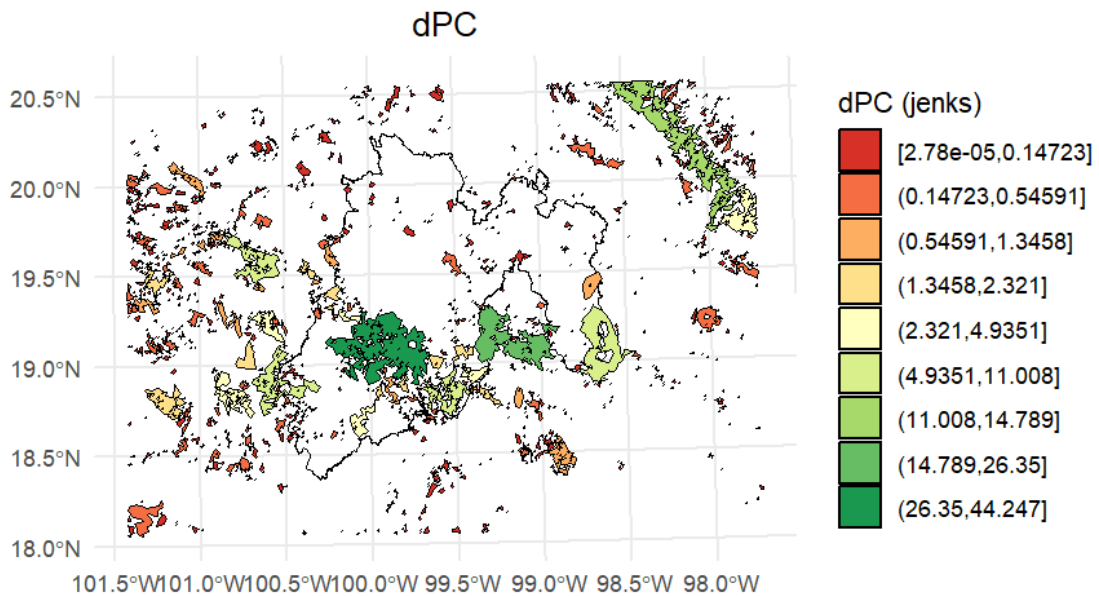
Para el índice Integral de Conectividad nuevamente el parche más importante es el que integra al nevado de Toluca y sus alrededores, seguido por el sur de la CDMX y Morelos, así como el Popo y el Izta (Figura 5).



**Figura 5.** Índice Integral de Conectividad

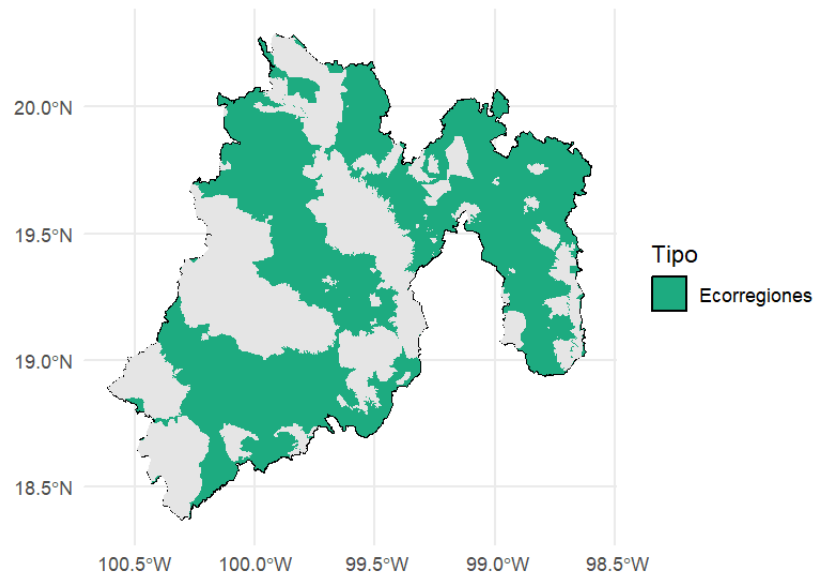
PC

La probabilidad de conectividad muestra un resultado muy similar que el IIC, con valores un poco mas altos en los parches pequeños, sobre todo aquellos que se encuentran en la región de Malinalco y Zumpahuacán (Figura 6).



**Figura 6.** Probabilidad de conectividad

ProtConn (considerando como Ecorregion el polígono del Edo Mex)



**Figura 7.** Áreas protegidas del Estado de México (en Gris)

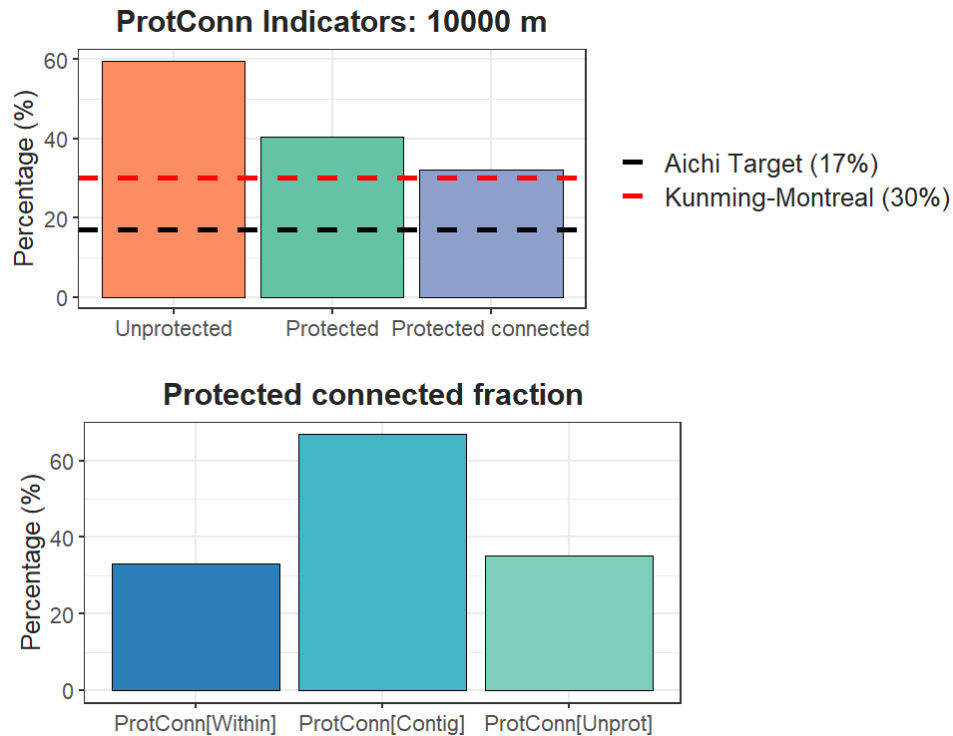
El índice ProtConn que el 40% de los parches está dentro de un ANP (Figura 7). El 31.9% de las áreas que contribuyen a la conectividad están protegidas (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Índice ProtConn.

Index	Value	ProtConn indicator	Percentage
EC(PC)	802622.97	Prot	40.4451
PC	1.0230e-01	Unprotected	59.5549
Maximum landscape attribute	2509283.65	ProtConn	31.9861
Protected surface	1014883.38	ProtUnconn	8.4590
		RelConn	79.0852
		ProtConn_Prot	64.7404
		ProtConn_Trans	0.0000
		ProtConn_Unprot	35.2596
		ProtConn_Within	33.1715
		ProtConn_Contig	66.8285
		ProtConn_Within_land	10.6103
		ProtConn_Contig_land	21.3759
		ProtConn_Unprot_land	11.2782
		ProtConn_Trans_land	0.0000

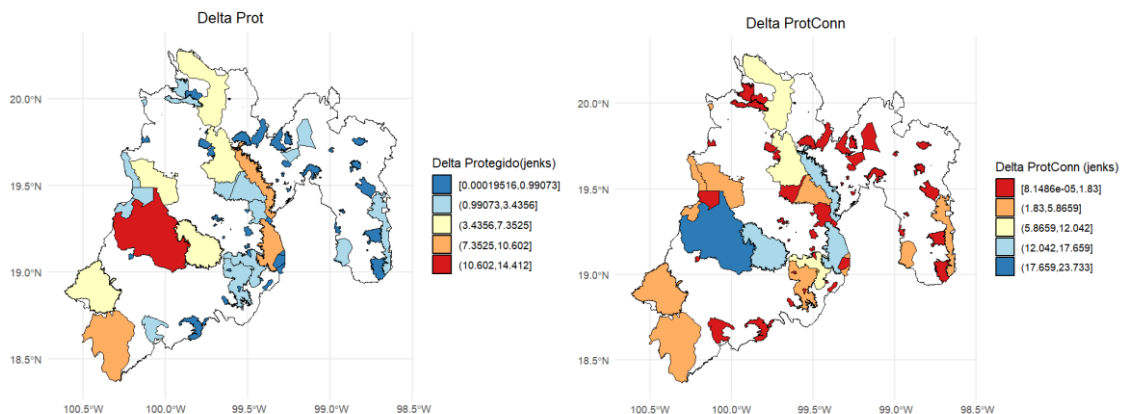


En las gráficas se puede observar que la protección en el Estado de México cubre las metas Aichi y Kunming-Montreal incluso si se considera la conectividad interna (Figura 8).



**Figura 8.** Gráficas que representan indicadores ProtConn y la Fracción de las áreas protegidas conectadas.

Espacialmente vemos que las ANP que contribuyen a la conectividad es el Z.P.F.T.C.C. de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec; el Parque ecológico, turístico y Recreativo Zempoala La Bufa, denominado Parque Otomí Mexica; así como Nevado de Toluca, Sierra Nanchititla, Rio Grande San Pedro, entre otras (Figura 9).



**Figura 9.** Delta Prot y Delta ProtCon.

#### **4. Discusión:**

En general para el Estado de México podemos observar parches muy importantes, que por su tamaño y forma pueden albergar a una gran diversidad de especies, incluyendo grandes carnívoros. Estos ubicados en la región sur del Estado de México. Resalto que la conectividad de estas ANP dependerá del esfuerzo conjunto con los Estados vecinos, por ejemplo, el Estado de Morelos y la Ciudad de México muestran parches muy importantes que permiten el desplazamiento de las especies entre el este y el Oeste del Estado de México.

En los últimos años se le ha dado gran énfasis a la región de la Sierra de las Cruces, en este análisis se puede observar que los parches remanentes no cubren con características aptas para albergar una gran diversidad de especies, sin embargo, pueden contribuir significativamente a la conectividad de contribuyen significativamente a la conectividad estructural de la región.

Otros parches muy importantes que podemos considerar Stepping Stones se ubican al sur del Estado de México en los Municipios de Malinalco y Zumpahuacán, seguramente esto son parches clave para especies tropicales entre el Estado de México y Guerrero.

De acuerdo con los análisis implementados se podría decir que la implementación de Áreas Protegidas del Estado de México esta siendo eficiente para contribuir a la conectividad al menos de un 30% de su territorio de acuerdo con las metas planteadas a nivel mundial. Parece un resultado positivo que habría que analizarse a más detalle.

#### **5. Conclusión:**

Los escenarios geoespaciales del efecto del cambio climático en la conectividad ecológica y la fragmentación del Estado de México muestran que existe una mayor conectividad en la región centro sur del Estado, así como en la región este. Por otro lado, la fragmentación es mucho mayor en la mitad norte del Estado. Estos resultados pueden estar contribuyendo a entender la conectividad ecológica de la región es importante sumarlos a análisis con un enfoque estructural. Las ANP que contribuyen a la conectividad es el Z.P.F.T.C.C. de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec; el Parque ecológico, turístico y Recreativo Zempoala La Bufa, denominado Parque Otomí Mexica.

#### **6. Referencias bibliográficas:**

Chacon-Prieto, F., Rodriguez-Soto, C., Cuervo-Robayo, A. P., Monroy, J. C. C., & Alagador, D. (2021). Protected areas in Central Mexico-are they fit in promoting species persistence under climate and land use changes?. *Biological Conservation*, 260, 109186.

- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2010). Estrategia de cambio climático para áreas protegidas. SEMARNAT – Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C., UASID-USFS-Agencia.  
[https://www.conanp.gob.mx/que\\_hacemos/pdf/ECCAP%202011%20FINAL.pdf](https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/ECCAP%202011%20FINAL.pdf)
- 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>
- Juárez-Ramírez, M. C., Rodríguez-Soto, C., Estrada-Torres, A., Vazquez, J., de la Vega, A. H. D., & Arias-Del Razo, I. (2025). Under pressure: Evaluating protected areas and identifying priority conservation areas in a highly transformed region in Central Mexico. *Journal for Nature Conservation*, 85, 126863.
- Moreno Barajas, R., Talavera Garduño, K., Rivera Morales, S., & Hernández Ramírez, N. (2019). Evaluación de la situación actual de las Áreas Naturales Protegidas del Estado de México. *Quivera: Revista de Estudios Territoriales*, 21(2), 113-129.
- Moreno-Barajas, R., Rogel-Fajardo, I., & Colindres-Jardón, I. (2021). Vertebrados en las Áreas Naturales Protegidas del Estado de México. Análisis de registros de bases de datos. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 23(2), 131-147.
- Pounds, J. A., Fogden, M. P. L., & Campbell, J. H. (2000). Biological science study on amphibian declines and extinctions. *Nature*, 404(6779), 752-755.  
<https://doi.org/10.1038/35008052>
- Rodríguez Soto, C., Martínez Reynoso, M., Balderas Plata, M. Á., & Némiga, X. A. (2019). Zonas prioritarias para la conservación de vertebrados en el Estado de México. *GeoSIG. Argentina*. <https://revistageosig.wixsite.com/geosig/geosig-23-2022>

## 7. Material anexo:

---

### *SCRIPT o CÓDIGO*

---

```
library(Makurhini)
library(sf)

habitat_nodes <-
read_sf("C:/SIG/Curso_Makurhini/DatosEdoMex/ParchBio_EM_UTM.shp")
nrow(habitat_nodes)
paisaje <- read_sf("C:/SIG/Curso_Makurhini/DatosEdoMex/EdoMex.shp")

install.packages("ggplot2", dependencies = TRUE)
install.packages("RColorBrewer", dependencies = TRUE)
```

```

library(ggplot2)
library(RColorBrewer)

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())

```

```

area_paisaje <- st_area(paisaje)
area_paisaje <- unit_convert(area_paisaje, "m2", "ha")

```

```

Fragmentacion <- MK_Fragmentation(nodes = habitat_nodes,
                                   edge_distance = 1000,
                                   min_node_area = 1000,
                                   landscape_area = area_paisaje,
                                   area_unit = "ha",
                                   perimeter_unit = "km",
                                   plot = TRUE)

```

```

Fragmentacion$`Patch statistics shapefile`

```

```

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 = "RdYlGn",
    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)
)

```

```

ggplot() +
  geom_sf(data = paisaje, aes(color = "Study area"), fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = Fragmentacion$`Patch statistics shapefile`, aes(fill = EdgePercent),
color = "black", size = 0.1) +
  scale_fill_distiller(
    palette = "RdYlGn",
    direction = -1,
    name = "% Borde"
  ) +
  theme_minimal() +
  labs(
    title = "Fragmentación a nivel de parche",
    fill = "% Borde"
  ) +
  theme(
    legend.position = "right",
    plot.title = element_text(hjust = 0.5)
  )

```

```

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

```

```

class(Fragmentacion)
#> [1] "list"
Fragmentacion$`Summary landscape metrics (Viewer Panel)`

mesh <- as.data.frame(Fragmentacion[[1]])
mesh <- mesh[13,2]
mesh_percentage <- (area_paisaje - mesh) * 100 / area_paisaje
mesh_percentage

Grid_test <- make_grid(x = paisaje, hexagonal = FALSE,
                      cell_area = unit_convert(40, "km2", "m2"),
                      clip = TRUE)
plot(Grid_test)

#Variable dummy
Grid_test$MESH <- 0

for(i in 1:nrow(Grid_test)){
  cat(paste0(i, " de ", nrow(Grid_test), "\r"))
  grid.i <- Grid_test[i,]
  nodes.i <- suppressWarnings(st_intersection(habitat_nodes, grid.i))

  if(nrow(nodes.i) > 0){
    area_paisaje.i <- st_area(grid.i)
    area_paisaje.i <- unit_convert(area_paisaje.i, "m2", "ha")
    Fragmentacion.i <- MK_Fragmentation(nodes = nodes.i,
                                         edge_distance = 500,
                                         min_node_area = 100,
                                         landscape_area = area_paisaje.i,
                                         area_unit = "ha",
                                         perimeter_unit = "km",
                                         plot = TRUE)
    mesh <- as.data.frame(Fragmentacion.i[[1]])
    mesh <- mesh[13,2]
    mesh_percentage <- (area_paisaje.i - mesh)*100/area_paisaje.i
    Grid_test$MESH[i] <- mesh_percentage
  } else {
    Grid_test$MESH[i] <- 100
  }
}

```

```
##iÍNDICE DE INTEGRIDAD DE LA CONECTIVIDAD
```

```
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())
```

```
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", keep = 0.1),  
  LA = area_paisaje,  
  onlyoverall = FALSE,  
  metric = "IIC",  
  distance_thresholds = 10000,  
  intern = TRUE) #10 km
```

```
IIC
```

```
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 = "RdYlGn", direction = 1, name = "dIIC (jenks)") +  
  theme_minimal() +  
  labs(  
    title = "dIIC",  
    fill = "dIIC"  
  ) +  
  theme(  
    legend.position = "right",  
    plot.title = element_text(hjust = 0.5)  
  )
```

```
#### 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", keep = 0.1),  
  LA = area_paisaje,  
  onlyoverall = FALSE,  
  metric = "PC",  
  probability = 0.5,  
  distance_thresholds = 10000,  
  intern = TRUE) #10 km
```

```
PC
```

```
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 = "RdYlGn", direction = 1, name = "dPC (jenks)") +
  theme_minimal() +
  labs(
    title = "dPC",
    fill = "dPC"
  ) +
  theme(
    legend.position = "right",
    plot.title = element_text(hjust = 0.5)
  )

```

```

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

```

```

APs <- read_sf("C:/SIG/Curso_Makurihni/DatosEdoMex/ANP_EM_UTMW.shp")
nrow(APs)
Ecorreg <- read_sf("C:/SIG/Curso_Makurihni/DatosEdoMex/EdoMex_utmwgs.shp")

```

```

APs <- APs[,c("NOMBRE")]
Ecorreg <- Ecorreg[, "NOM_ENT"]

```

```

library(rmapshaper)
mask_ecorreg <- ms_dissolve(Ecorreg)
APs_nacionales <- ms_clip(APs, mask_ecorreg)

```

```

ggplot() +

```

```

geom_sf(data = Ecorreg, aes(fill = "Ecorregiones"), color = "black") +
geom_sf(data = APs_nacionales, color = NA) +
scale_fill_manual(name = "Tipo", values = c("#1DAB80", "#FF00C5", "#E06936",
"#8D8BBE"))+
theme_minimal()

```

```
##Protconn
```

```
Ecorreg_1 <- Ecorreg[1,] #Selecciono la primera fila o primera ecorregion
```

```

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

```

```
test$` Protected Connected (Viewer Panel`
```

```
test$` ProtConn Plot`
```

```

test2 <- MK_ProtConn(nodes = APs,
  region = Ecorreg_1,
  area_unit = "ha",
  distance = list(type= "edge", keep = 0.1),
  distance_thresholds = 10000,
  probability = 0.5,
  transboundary = 50000,
  plot = TRUE,
  parallel = NULL,
  protconn_bound = TRUE,
  delta = FALSE,
  write = NULL,
  intern = TRUE)

```

```
#> Step 1. Reviewing parameters
```

```
#> Step 2. Processing ProtConn metric
```

```
#> Done!
```

```
#>
```

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

```
test3$ProtConn_Delta
```

```
library(classInt)
```

```
library(dplyr)
```

```
dProtConn <- test3$ProtConn_Delta
```

```
# Calcular los intervalos de Jenks para strength
```

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

```
# Crear una nueva variable categórica con los intervalos
```

```
dProtConn2 <- dProtConn %>%
```

```
  mutate(dProt_q = cut(dProt,  
    breaks = breaks$brks,  
    include.lowest = TRUE,  
    dig.lab = 5))
```

```
# Graficar en ggplot2 usando las clases Jenks
```

```
ggplot() +
```

```
  geom_sf(data = Ecorreg_1, fill = NA, color = "black") +
```

```
  geom_sf(data = dProtConn2, aes(fill = dProt_q), color = "black", size = 0.1) +
```

```
  scale_fill_brewer(palette = "RdYlBu", direction = -1, name = "Delta Protegido(jenks)") +
```

```
  theme_minimal() +
```

```
labs(
  title = "Delta Prot",
  fill = "Delta Prot"
) +
theme(
  legend.position = "right",
  plot.title = element_text(hjust = 0.5)
)
```

```
dProtConn <- test3$ProtConn_Delta
# Calcular los intervalos de Jenks para strength
breaks <- classInt::classIntervals(dProtConn$dProtConn, n = 5, style = "jenks")

# Crear una nueva variable categórica con los intervalos
dProtConn2 <- dProtConn %>%
  mutate(dProtConn_q = cut(dProtConn,
    breaks = breaks$brks,
    include.lowest = TRUE,
    dig.lab = 5))
```

---

**OBJETIVO:** El propósito de este trabajo es que apliques los conocimientos adquiridos sobre índices de conectividad y fragmentación en un caso de estudio real o simulado, utilizando el paquete de R Makurhini. Deberás realizar un análisis que incluya una interpretación ecológica de los resultados, más allá de la ejecución técnica del código.

## INDICACIONES

### A - Tema y datos

1. Escoge un área de estudio y un conjunto de datos espaciales relevantes (**propios o provistos en el**

**curso:** <https://drive.google.com/drive/folders/12lWrVUgmApwR-HodlD6XDF8sLGi7sYBd?usp=sharing> o ve a la sección final para ver otros datasets espaciales).

2. Debes aplicar al menos uno de los índices vistos en clase:

- *Índices de fragmentación* (e.g., número de fragmentos, tamaño medio)
- *Centralidad* (degree, BWC, etc.)
- *IIC* (Integral Index of Connectivity) y sus fracciones (dIIC, dIICintra, dIICflux, dIICconnector, dIICrest).

- *PC* (Probability of Connectivity) y sus fracciones (*dPC*, *dPCintra*, *dPCflux*, *dPCconnector*, *dPCrest*).
- *Índice Integral de Conectividad focal* (*IICf*), *Probabilidad de Conectividad focal* (*PCf*), *Índice de Conectividad Compuesto* (*CCIf*)
- *Prioridad de enlaces* (eliminación y cambio de enlaces)
- *ECA* (Equivalent Connected Area) y *dECA*
- *ProtConn* (Protected Connected Land)

## **B - Estructura del informe**

El documento debe incluir las siguientes secciones:

## **C - Formato del trabajo**

- Extensión: cada sección debe tener al menos 100 palabras.
- Formato: Word, PDF
- Figuras y tablas numeradas con pie de figura.
- Más de una referencia en formato APA

## **D - Se adjunta rúbrica de evaluación**

## **E - Fuentes de datos espaciales de interés**

- Huella espacial humana: <https://datadryad.org/dataset/doi:10.5061/dryad.ttdz08m1f>
- Huella espacial humana: <https://www.earthdata.nasa.gov/data/catalog/sedac-ciesin-sedac-lwp3-hf-1993-2018.00>
- Ecorregiones: <https://ecoregions.appspot.com/>
- Huella espacial humana: <https://zenodo.org/records/14449495>
- Vegetación de Hansen: [https://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest/download\\_v1.7.html](https://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest/download_v1.7.html)
- Vegetación de Potapov: <https://glad.umd.edu/dataset/GLCLUC2020>
- Vegetación de la ESA: [https://www.esa-landcover-cci.org/?q=webfm\\_send/112](https://www.esa-landcover-cci.org/?q=webfm_send/112); <https://www.esa-landcover-cci.org/>
- Vegetación de MODIS: <https://lpdaac.usgs.gov/products/mcd12q1v061/>
- Vieilledent et al. 2022: <https://forestatrisk.cirad.fr/index.html>

- GLanCE30 v001 30m: <https://lpdaac.usgs.gov/products/glance30v001/>
- Dynamic world  
dataset: <https://dynamicworld.app/> ; <https://www.nature.com/articles/s41467-023-39221-x#Sec7>
- Mapbiomas, ejemplo: <https://colombia.mapbiomas.org/en/map/coleccion-1-0/>, <https://brasil.mapbiomas.org/en/>, <https://peru.mapbiomas.org/>, <https://venezuela.mapbiomas.org/>
- CONABIO (México): <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>