

Fragmentación de la cobertura de boscosa e incidencia en la dispersión del Oso andino (*Tremarctos ornatus*) en los municipios de Vélez y Chipatá, Santander, Colombia.

José Santiago Piñeros Molano, Fredy Alexander Chacón Pardo

Introducción

Vélez es un municipio ubicado al sur del departamento de Santander Colombia el cual se encuentra en un rango altitudinal entre los 300 a 2600 msnm. Su amplio rango altitudinal y su ubicación estratégica en la cordillera oriental hace que allí convergen tres tipos de formaciones vegetales incluyendo bosques de tierras bajas hasta los 1,000 metros, bosques de tierra fría que predominan entre los 1,000 y 2,600 metros en los cuales predomina la vegetación de bosque altoandino. En el municipio aún existen áreas boscosas de buen tamaño, principalmente en las áreas de nacimiento y márgenes protectoras de muchos de los afluentes de ríos como: El Opón, Horta o Aguamiel, Río Suárez y la Quebrada Roperó. Dentro de los principales problemas que han disminuido los principales ecosistemas del municipio se encuentran la contaminación y deterioro de las fuentes hídricas debido a la falta de gestión adecuada de residuos, la deforestación y pérdida de biodiversidad causada por la expansión agrícola y la urbanización y la baja valorización de la biodiversidad regional y su desconexión con el desarrollo de modelos de negocio sostenibles en la región (Gobernación de Santander, 2024; Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2022). El Oso Andino *Tremarctos ornatus*, conocido también como Oso de Anteojos, es el único representante de los osos en América del Sur catalogado según la UICN como vulnerable (VU). Habita principalmente la Cordillera de los Andes en remanentes de bosque de países tales como Ecuador, Perú, Bolivia y Colombia. Dentro de las principales amenazas a sus poblaciones se encuentran factores como la cacería ilegal y la destrucción de su hábitat por la expansión de actividades agropecuarias, mineras y urbanas (Velez-Liendo & García-Rangel, 2017). Esta especie exhibe rangos de hogar amplios, estimados en 12,600 ha para machos y 3,600 ha para hembras en hábitats similares a los de Colombia (Castellanos, 2011). Su ecología del movimiento, caracterizada por desplazamientos de hasta 15 km en paisajes fragmentados (Rechberger et al., 2001), depende de la conectividad de bosques montanos y páramos (Cáceres-Martínez et al., 2020). Este estudio analiza cómo la fragmentación del hábitat afecta su dispersión y uso del espacio en las tierras altas colombianas.

Dada la ubicación de Vélez y sus características ecológicas como estar en la zona de transición Andino-Valle del Magdalena y presentar bosques húmedos montanos andinos se plantea la evaluación de los remanentes de bosque del municipio como posibles zonas de presencia de Oso Andino claves para la conservación de la especie y se plantea como pregunta problema ¿En qué regiones y parches de los municipios presentan las características de conectividad idóneas y donde podrían desarrollarse esfuerzos piloto para restablecer la conectividad y promover la conservación de oso andino?

Metodología

El área de estudio se ubica en los municipios de Vélez y Chipatá, Santander Colombia. Se utilizaron las capas de cobertura vegetal (altura de dosel) del año 2020 con una resolución de 10m x 10m extraídas del dataset en la página Global land cover and land use change 2000-2020 (Potapov et al., 2020), el área de estudio correspondiente a los municipios fue obtenida mediante los archivos de uso público alojados en el portal web *Colombia en mapas*. El procesamiento de las capas correspondiente a las coberturas y área de estudio se realizó mediante el software QGIS, se filtró la capa de cobertura de bosque para dejar la extensión de píxel cuyo parámetro fuera mayor o igual a 5 m, posteriormente se vectorizar el ráster resultante y se corrigió la geometría resultante. Finalmente se pasó la proyección de ambas capas a EPSG:32618 (UTM zona 18N con datum WGS 84) y se añadió y calculó el parámetro de área en hectáreas para ambas capas en formato shape.

Para el análisis de ecología del paisaje se usó el software Rstudio y, principalmente, la paquetería Makurhini. Puntualmente para este estudio se analizó métricas del paisaje, fragmentación bajo un área de parche y paisaje en hectáreas, una distancia de borde de 500 m de profundidad y 100 m de área mínima de núcleo (Haddad et al. 2015), se eligió un área de borde menor dado a que durante el proceso de vectorización se despreció cierta fracción de la cobertura que podía representar una porción importante de la cobertura circundante del parche. Por otro lado se calcularon índices de centralidad y porcentaje de conectividad bajo un umbral de 10.000km² y distancias euclidianas borde-borde (con keep 0.1) ya que se busca analizar el nivel de conectividad en el área en función de la capacidad de dispersión del oso andino (*Tremarctos ornatus*) reportado en el área, el umbral de dispersión fue elegido mediante un ponderado entre la capacidad de dispersión y rango de hogar reportada por Rechberger et al (2001), Castellanos, A. (2011) y Cáceres-Martínez et al. (2020).

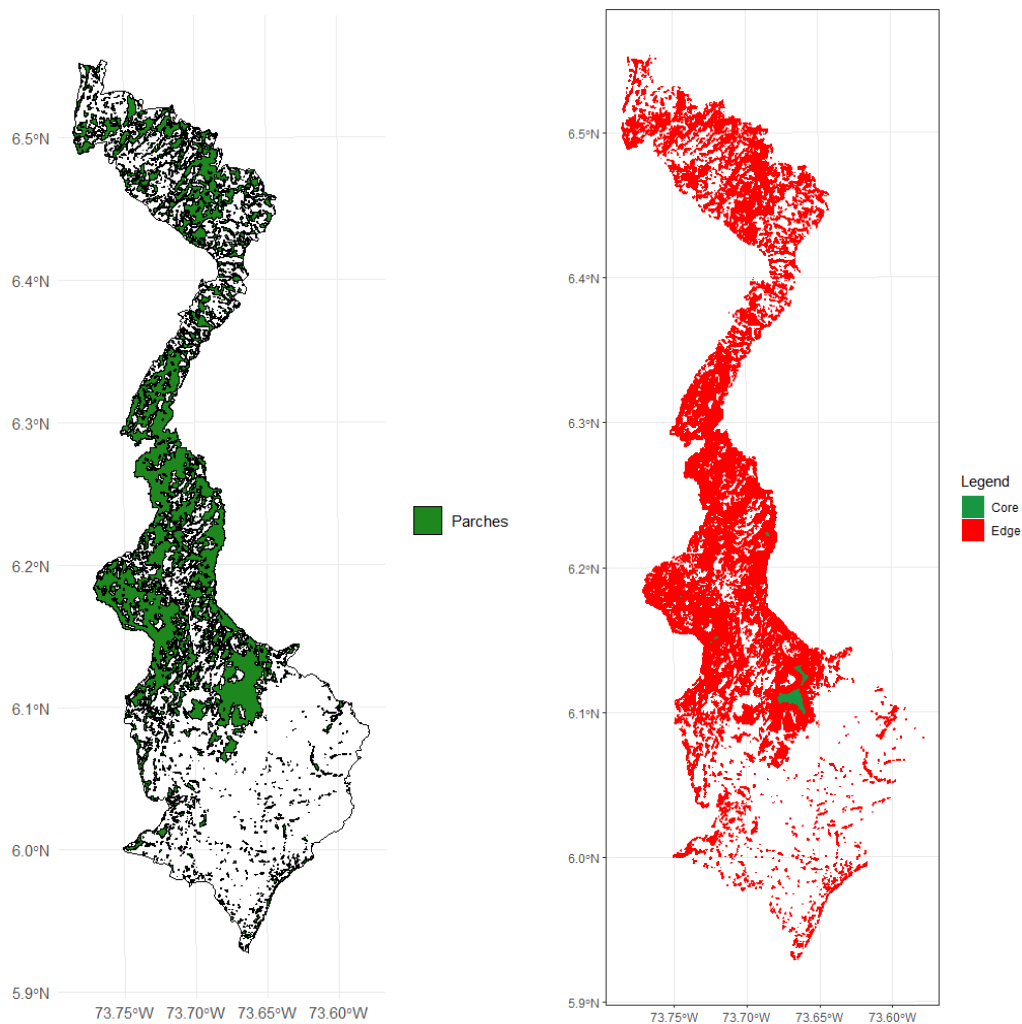
Resultados y Discusión

Se encontró que el área total del paisaje es de 54.240,13 ha de las cuales 17.665,37 ha pertenecen a bosque andino distribuido en un total de 2169 parches. La superficie media por parche es de apenas 8.14 ha pero 2156 de los parches están por debajo del área mínima funcional (100 km²) (Tabla 1), esto podría indicar que existe una predominancia de fragmentos pequeños dentro del paisaje pero hay algunos parches lo suficientemente masivos para agrandar el tamaño promedio de los parches, lo cual es soportado por el porcentaje de parches con área mínima respecto al área total de apenas 22. 69% (Tabla 1). Esto último supone que al menos más del 99.4% de los parches no ofrece condiciones adecuadas para sostener individuos de oso andino dado a que el rango de hogar de esta especie en entornos andinos oscila entre 12600 ha para machos y 3600 ha para hembras (Castellanos, A. 2011).

Tabla 1. Métricas de fragmentación.

Metric	Value
Patch area (ha)	17665.3789
Number of patches	2169.0000
Size (mean)	8.1445
Patches < minimum patch area	2156.0000
Patches < minimum patch area (%)	22.6911
Total edge	2148.5520
Edge density	0.1216
Patch density	3.9989
Total Core Area (ha)	183.4894
Cority	0.0014
Shape Index (mean)	0.1393
FRAC (mean)	0.9028
MESH (ha)	827.4371

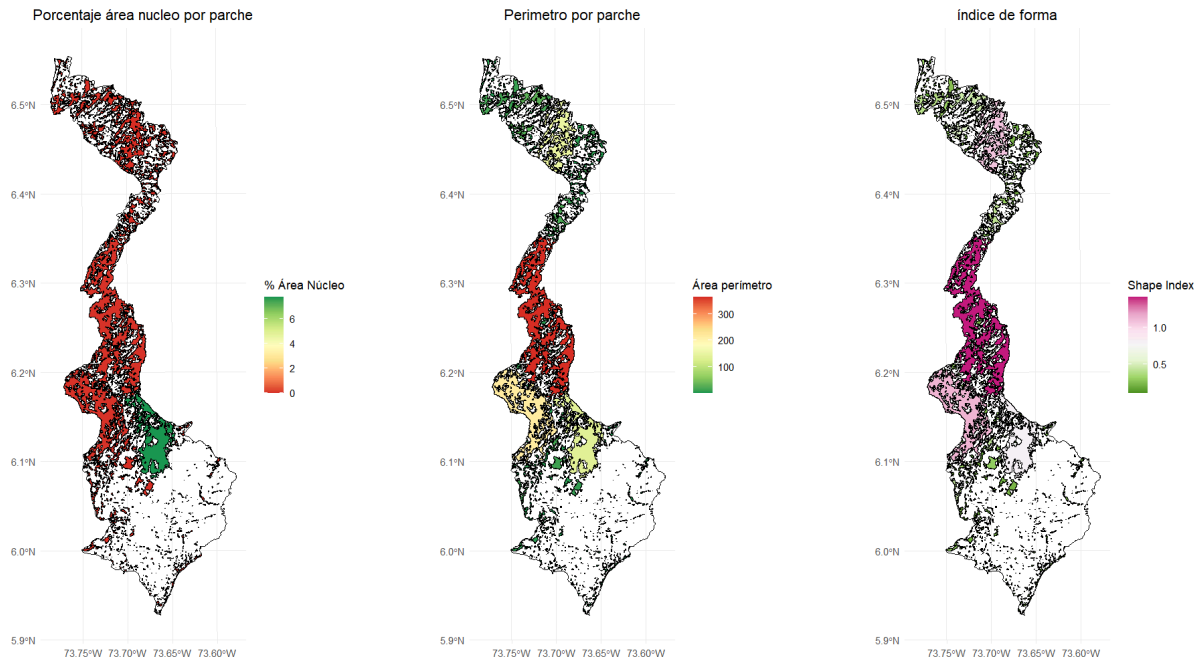
Figura 2. Mapa que representa los parches en el área de estudio (Izquierda) y cantidad de borde por parche (derecha).



La densidad de parches ($3.99 \text{ parches/km}^2$) y la densidad de bordes (0.12 km/km^2) reflejan un paisaje altamente dividido, con una gran proporción de borde en relación al área, lo que puede favorecer procesos de degradación por efectos de borde, como invasión de especies exóticas, pérdida de humedad o aumento de temperatura, a esto se suma el área total de núcleo (183.49 ha) extremadamente baja en relación al área total, lo que indica que los parches conservan muy poco hábitat interior libre de influencia de borde (Figura 1 y 2). El área núcleo (0.0014), que mide la proporción de hábitat núcleo respecto al total del paisaje, confirma esta baja calidad estructural.

El índice de forma (Shape Index = 0.1393) y la FRAC media (0.20) sugieren que los parches tienden a formas simples y no tan fractales, lo que puede limitar la conectividad funcional pero los hace estables en forma. Sin embargo, los parches cuyos perímetros son los más extensos son los que tienen la proporción fractal más amplia, lo que podría indicar que son los más susceptibles a pérdida de área y fragmentación (Figura 3). Finalmente, el valor de MESH (827.43 ha), que representa el tamaño medio de los parches si estuvieran conectados, indica que, aunque el paisaje está fragmentado, existen algunos parches grandes que podrían actuar como núcleos de conectividad si se gestionan adecuadamente.

Figura 3. Mapa de métricas de fragmentación.

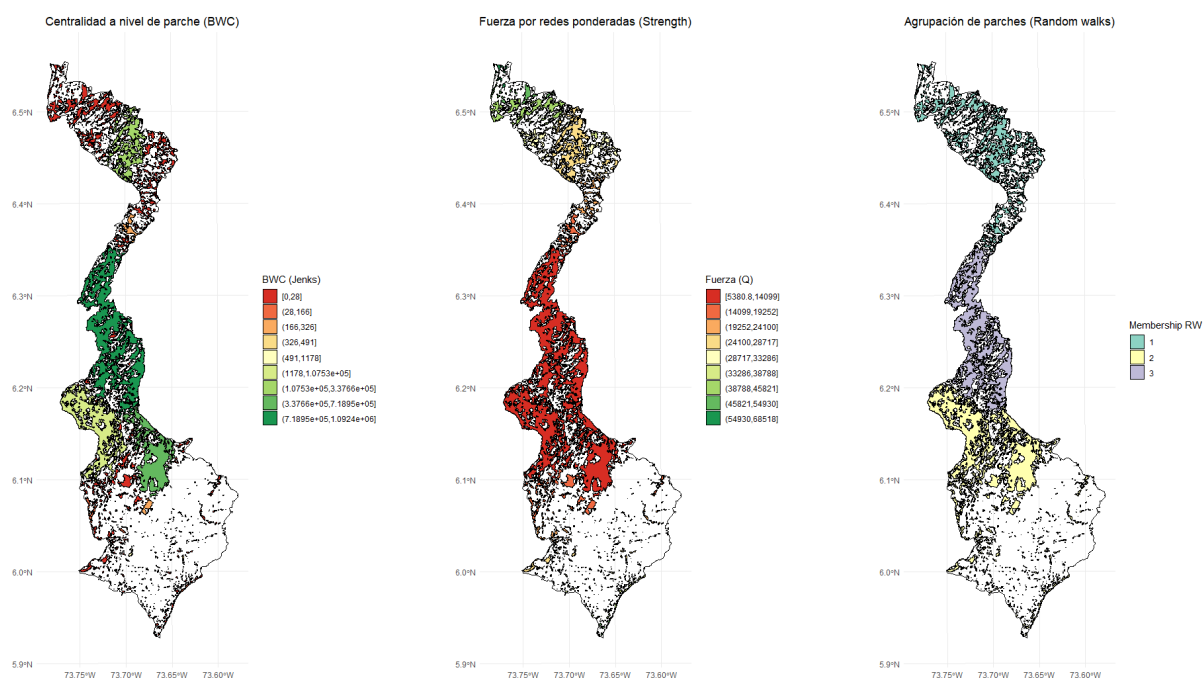


Basado en el % MESH un 98.47% del área de estudio permanece conectada o funcionalmente disponible para *T. ornatus*.

La centralidad de intermediación (BWC) mide su importancia como puente o conector dentro de la red en función de cuántas veces un parche aparece en los caminos más cortos entre otros parches, por otro lado, el parámetro Strength de un nodo refleja cuán bien conectado está un parche con otros, considerando la calidad o intensidad de esas conexiones. Basado en lo anterior se resaltan los parches que ocupan el área central del área de estudio como los más importantes a nivel de conectividad con respecto a los parches periféricos del norte y los dispersos y marginales del sur (Figura 3).

La cualidades de centralidad y flujo que poseen cada agrupación de parches son soportadas por la agrupación por random walks, que aglomera a los parches norte, centro y sur en grupos distintos (Figura 3).

Figura 3. Mapa de índices de centralidad del área estudio.



En el contexto de un paisaje compuesto por fragmentos de bosque altoandino inmersos en matrices agrícolas, los resultados del índice de probabilidad de conectividad global revelan una estructura funcionalmente fragmentada pero con ciertos nodos clave. El valor de PCnum (289.000000) indica que la magnitud total de la probabilidad de conectividad potencial considerando todos los parches y sus interacciones ponderadas por área y distancia alta (Tabla 2). Esta amplia red de probabilidades se debe a que los parches grandes centrales bien conectados entre sí y que la densidad de los parches en el área norte de los municipios es alta y no están tan alejados entre sí, esto también justificaría por qué los 20 parches con el mayor PC se hallan en la porción central y norte de los municipios (Figura 4). No obstante, el valor de EC(PC) (17.022,87 ha) que representa la cantidad de hábitat equivalente funcionalmente conectado y el índice PC (9.8%) que señala que porción del paisaje contribuye a la conectividad funcional evidencia una alta fragmentación y una baja eficiencia estructural para la dispersión de esta especie ya que no representa más del 10% del área municipal total, recluyendo y aislando a la especie, y apenas sustentaría la presencia de dos individuos (macho y hembra) de *T. ornatus* basado en el Home range óptimo para la especie.

Tabla 2. Métricas globales de conectividad

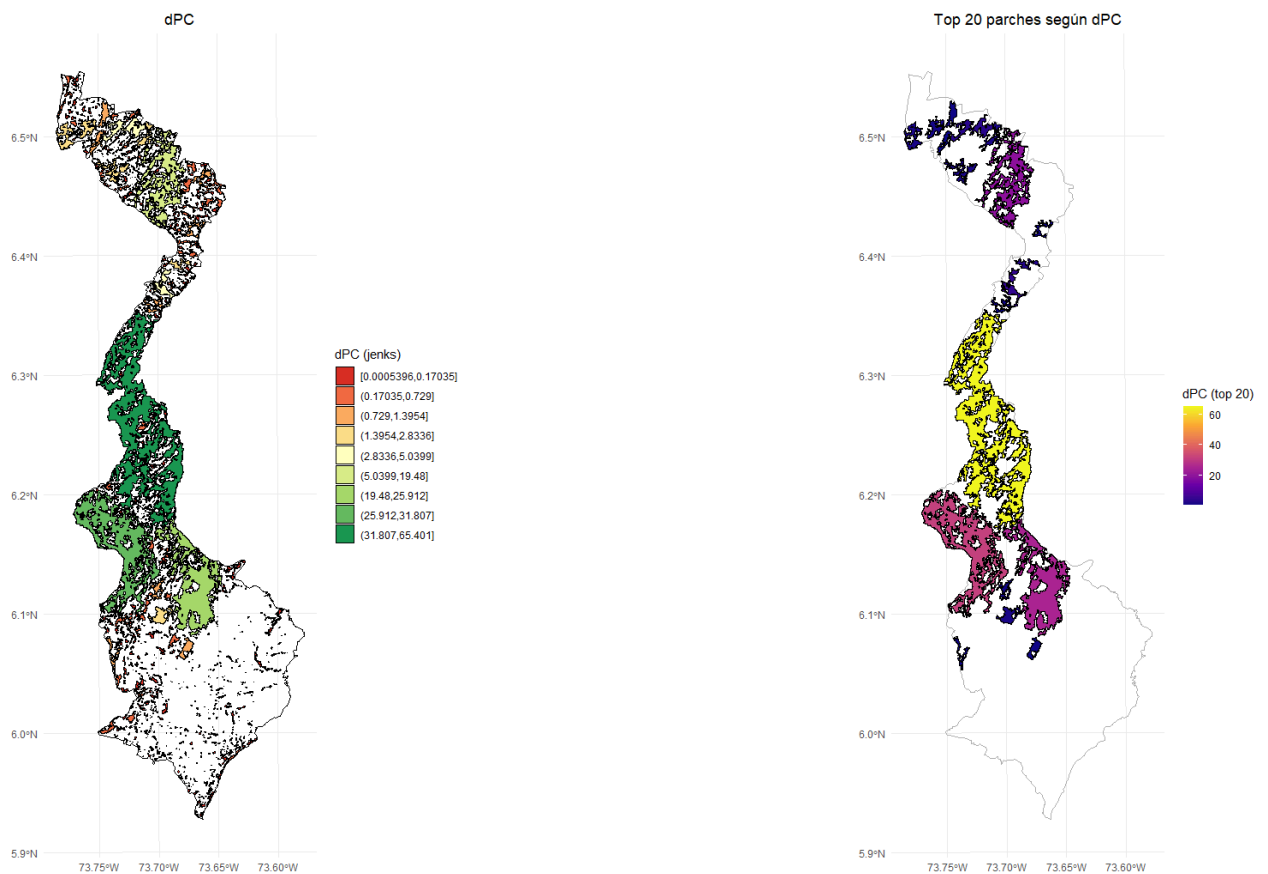
Índice	Métrica	Valor
1	PCnum	289,778,200
2	EC(PC)	17,022.87
3	PC	0.098

El análisis de los 20 parches con mayor aporte al índice de conectividad del paisaje (dPC) revela una marcada heterogeneidad en su contribución funcional, tanto por área como por rol estructural. El parche con mayor influencia (fid 3251) destaca por su gran superficie (5,213 ha) y un dPC total de 65.4, impulsado principalmente por su papel como conector (dPCconnector \approx 13.31) y como facilitador de flujo (dPCflux \approx 42.43), lo que lo convierte en un nodo clave para mantener la conectividad ecológica del oso andino. En contraste, otros parches como el fid 4353 y el fid 4624, aunque de menor área, aportan significativamente al flujo (dPCflux > 23), pero tienen un rol casi nulo como conectores, lo que sugiere que su valor depende más de su ubicación que de su capacidad de enlace. También se observan parches pequeños (e.g., fid 1731, 1564) con valores altos de dPCconnector, lo que indica que, pese a su tamaño reducido, cumplen funciones críticas como puentes entre fragmentos mayores. Finalmente, los parches con valores de dPC por debajo de 2 (cuartil [0,0.033166]) tienen una contribución marginal, aunque podrían ser relevantes en escenarios de restauración o como refuerzos locales. Esta diversidad funcional subraya la necesidad de estrategias diferenciadas de conservación, priorizando tanto grandes núcleos como pequeños conectores clave.

Tabla 3. parámetros fracción de los primeros 10 parches con dPC más alto en el paisaje.

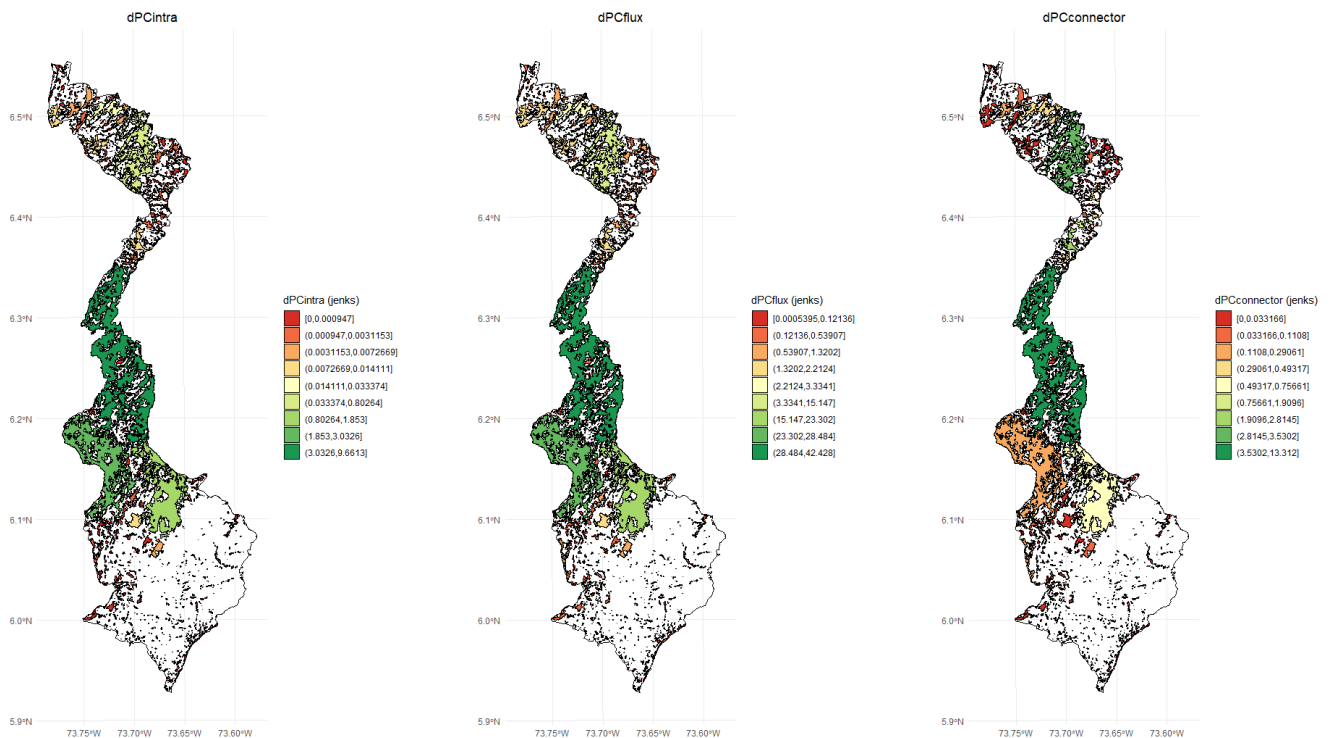
fid	Área (m ²)	dPC	dPCintra	dPCflux	dPCconnector
3251	5213.58	65.40	9.66	42.43	13.31
4353	2914.55	31.81	3.03	28.48	0.29
4624	2292.75	25.91	1.85	23.30	0.76
1428	1506.10	19.48	0.80	15.15	3.53
1731	192.23	5.04	0.01	2.21	2.81
442	310.11	3.78	0.03	3.33	0.41
1564	79.89	2.83	0.00	0.92	1.91
998	199.30	2.20	0.01	2.16	0.02
4477	170.16	1.98	0.01	1.97	0.00
541	183.30	1.97	0.01	1.95	0.01

Figura 4. Mapa de aportes por parche a la conectividad del paisaje (Izquierda) y mapa de los 20 parches cuyo aporte es el más alto respecto al resto de parches (derecha).



El índice **dPC** (delta Probability of Connectivity) muestra los parches de color verde oscuro y verde claro los cuales tienen valores de dPC más altos (> 25.912). Esto sugiere que estos parches son los más importantes para mantener la conectividad en la región. Su pérdida o degradación tendría un efecto significativo en cómo los individuos de una especie, en este caso *Tremarctos ornatus*, pueden moverse a través del paisaje. Los parches en naranja y rojo tienen los valores de dPC más bajos (< 1.25) aportando en menor medida a la conectividad general. Los parches con los valores de dPC más altos (Figura 4, Izquierda) se concentran principalmente en la región central y norte de Velez, lo que indica su crucial importancia para el mantenimiento de la conectividad. Esto es apoyado por el dPC (Figura 4, Derecha) donde se muestran solo los 20 parches más importantes en términos de su contribución a la conectividad (los de mayor valor de dPC). Los colores en este mapa (de amarillo a morado) resaltan la ubicación de estos 20 parches en este caso ubicándose principalmente en el centro y la región norte. Así mismo, Los tres componentes del dPC (dPCintra, dPCflux y dPCconnector) identifican consistentemente a los parches de esta área como los de mayor importancia funcional.

Figura 5. Mapa de las fracciones que representan la importancia individual por parche.



Los resultados del análisis de la conectividad del paisaje, revelan un panorama desafiante para la conservación del Oso Andino. El paisaje de la región está altamente fragmentado, con un total de 2169 parches de bosque andino, que en su mayoría son demasiado pequeños para sostener a un individuo de la especie. La superficie media de los parches es de solo 8.14 ha, y más del 99.4% de estos parches no ofrece las condiciones de hábitat adecuadas, ya que el rango de hogar de un oso andino puede oscilar entre 3,600 ha para hembras y 12,600 ha para machos en entornos andinos (Castellanos, 2011; Rechberger et al., 2001). Esta situación se agrava por la alta densidad de bordes (0.12 km/km²) y la escasa área de núcleo total (183.49 ha), lo que reduce la calidad del hábitat remanente (Haddad et al., 2015).

A pesar de esta fragmentación general, el análisis de conectividad identifica zonas clave que son vitales para la supervivencia de la especie. Los resultados del índice de probabilidad de conectividad (PC) y sus componentes (dPCintra, dPCflux, dPCconnector) demuestran de manera consistente que los parches de bosque en la región central y norte del área de estudio tienen la mayor importancia funcional para la conectividad ecológica. Estos parches no solo son los más grandes, sino que también actúan como puentes y conectores cruciales, facilitando el movimiento de individuos a través del paisaje fragmentado.

Dada la ecología del oso andino, que requiere extensos rangos de hogar para su supervivencia (Cáceres–Martínez et al., 2020), cualquier estrategia de conservación debe ir más allá de la protección de parches aislados. Por lo tanto, se recomienda que los esfuerzos de conservación se centren en la recuperación y el fortalecimiento de la conectividad en las zonas central y norte del municipio. La gestión y restauración del

ecosistema en estas áreas permitirán mantener la dispersión de los individuos y evitar un mayor aislamiento genético de las poblaciones.

Aunque el valor total de conectividad (PC) indica una alta fragmentación, sugiriendo que el área apenas podría sostener la presencia de dos individuos (un macho y una hembra), el valor de MESH (827.43 ha) indica que, si los parches estuvieran conectados, el tamaño funcional sería significativamente mayor. Esto resalta la importancia de implementar corredores de conservación y proyectos de restauración en las áreas identificadas como prioritarias para aumentar el hábitat disponible y mejorar la calidad estructural del paisaje para el Oso Andino.

Conclusión

Para garantizar la viabilidad a largo plazo del oso andino en la región, las estrategias de conservación deben priorizar la protección y la mejora de la conectividad ecológica, enfocándose en las áreas centrales y del norte, que son los principales nodos de conectividad del paisaje. Como lo indica el valor del MESH (827,43 ha), la conectividad en la zona es de suma importancia para lograr que los esfuerzos de conservación de la especie funcionen y que no solo esta especie se vea beneficiada sino todas las especies que acoge al ser una especie sombrilla.

Material anexo

```
library(classInt)
library(ggplot2)
library(RColorBrewer)
library(gridExtra)
library(Makurhini)
library(raster)
library(terra)

setwd("~/Estudio/Conectividad ecológica/Proyecto")

Parches <- read_sf("Velez_chipatá/Parches_velez-chipata.shp")
nrow(Parches)
Paisaje <- read_sf("Velez_chipatá/Paisaje_velez-chipata.shp")
a_paisaje <- st_area(Paisaje)
a_paisaje <- unit_convert(a_paisaje, "m2", "ha")
a_paisaje

#Mapeo
ggplot() +
  geom_sf(data = Paisaje, aes(color = "Paisaje"), fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = Parches, 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())

##### índice de fragmentación #####

a_frag <- MK_Fragmentation(nodes = Parches,
                           edge_distance = 500,
```

```

        min_node_area = 100,
        landscape_area = a_paisaje,
        area_unit = "ha",
        perimeter_unit = "km",
        plot = TRUE)

a_frag
plot(a_frag)

##% de área núcleo
a <- ggplot() +
  geom_sf(data = Paisaje, aes(color = "Study area"), fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = a_frag$`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 = "Porcentaje área nucleo por parche",
    fill = "% Área Núcleo"
  ) +
  theme(
    legend.position = "right",
    plot.title = element_text(hjust = 0.5)
  )

##% de área borde
b <- ggplot() +
  geom_sf(data = Paisaje, aes(color = "Study area"), fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = a_frag$`Patch statistics shapefile`,
    aes(fill = EdgePercent), color = "black", size = 0.1) +
  scale_fill_distiller(
    palette = "RdYIGn",
    direction = -1,
    name = "% Borde"
  ) +
  theme_minimal() +
  labs(
    title = "Porcentaje de área borde por parche",
    fill = "% Borde"
  ) +
  theme(
    legend.position = "right",
    plot.title = element_text(hjust = 0.5)
  )

#Perímetro por parche
c <- ggplot() +
  geom_sf(data = Paisaje, aes(color = "Study area"), fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = a_frag$`Patch statistics shapefile`,
    aes(fill = Perimeter), color = "black", size = 0.1) +
  scale_fill_distiller(
    palette = "RdYIGn",
    direction = -1,
    name = "Área perímetro"
  ) +

```

```

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

```

#índice de forma

```

d <- ggplot() +
  geom_sf(data = Paisaje, aes(color = "Study area"), fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = a_frag$`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 = "Índice de forma",
    fill = "Shape Index"
  ) +
  theme(
    legend.position = "right",
    plot.title = element_text(hjust = 0.5)
  )

```

```

grid.arrange(a, c, d, ncol = 3, nrow = 1)

```

índice de fragmentación

```

class(a_frag)
#Área del paisaje
mesh <- as.data.frame(a_frag[[1]])
mesh <- mesh[13,2]
mesh_p <- (a_paisaje - mesh) * 100 / a_paisaje
mesh_p

```

#Loop distancia de borde

```

library(purrr)
Fragmentacion.2 <- map_dfr(seq(100, 1000, 100), function(x){
  x.1 <- MK_Fragmentation(nodes = Parches,
    edge_distance = x, plot = FALSE)[[2]]
  CA <- mean(x.1$CAPercent)
  Edge <- mean(x.1$EdgePercent)
  x.2 <- rbind(data.frame('Distancia borde' = x, Type = "Área nucleo", Percentage = CA),
    data.frame('Distancia borde' = x, Type = "Borde", Percentage = Edge))
  return(x.2)
}, .progress = TRUE)

```

Fragmentacion.2

```

library(ggplot2)
ggplot(Fragmentacion.2, aes(x=Distancia.borde, y=Percentage, group=Type)) +
  geom_line(aes(color=Type))+

```

```
geom_point(aes(color=Type))+ ylim(0,100)+
scale_x_continuous("Distancia", labels = as.character
  (Fragmentacion.2$Distancia.borde), breaks = Fragmentacion.2$Edge.distance)+
scale_color_brewer(palette="Dark2")+
theme_classic()
```

```
#-----Indices de centralidad-----#
```

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

```
i_centr <- MK_RMCentrality(
  nodes = Parches,
  distance = list(type = "edge", keep = 0.1),
  distance_thresholds = 10000,
  probability = 0.5,
  intern = TRUE,
  write = NULL,
)
i_centr
```

```
# BWC
```

```
breaks <- classInt::classIntervals(i_centr$BWC, n = 9, style = "jenks")
```

```
c_test <- i_centr %>%
  mutate(BWC_jenks = cut(BWC,
    breaks = breaks$brks,
    include.lowest = TRUE,
    dig.lab = 5))
```

```
f <- ggplot() +
  geom_sf(data = Paisaje, fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = c_test, aes(fill = BWC_jenks), color = "black", size = 0.1) +
  scale_fill_brewer(palette = "RdYlGn", direction = 1, name = "BWC (Jenks)") +
  theme_minimal() +
  labs(
    title = "Centralidad a nivel de parche (BWC)",
    fill = "BWC (Jenks)"
  ) +
  theme(
    legend.position = "right",
    plot.title = element_text(hjust = 0.5)
  )
```

```
# Streght
```

```
breaks <- classInt::classIntervals(i_centr$strength, n = 9, style = "jenks")
```

```
c_test <- i_centr %>%
  mutate(strength_q = cut(strength,
    breaks = breaks$brks,
    include.lowest = TRUE,
    dig.lab = 5))
```

```
g <- ggplot() +
  geom_sf(data = Paisaje, fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = c_test, aes(fill = strength_q), color = "black", size = 0.1) +
  scale_fill_brewer(palette = "RdYlGn", direction = 1, name = "Fuerza (Q)") +
  theme_minimal() +
  labs(
    title = "Fuerza por redes ponderadas (Strength)",
    fill = "Strength\n(Jenks)"
  ) +
```

```

theme(
  legend.position = "right",
  plot.title = element_text(hjust = 0.5)
)

h <- ggplot() +
  geom_sf(data = Paisaje, fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = c_test, aes(fill = as.factor(memb.rw)), color = "black", size = 0.1) +
  scale_fill_brewer(
    palette = "Set3",
    name = "Membership RW"
  ) +
  theme_minimal() +
  labs(
    title = "Agrupación de parches (Random walks)",
    fill = "Membership RW"
  ) +
  theme(
    legend.position = "right",
    plot.title = element_text(hjust = 0.5)
  )
write_xlsx(i_cent, path = "E:/Estudio/Proyecto/i_cent.xlsx")
grid.arrange(f,g,h, ncol = 3, nrow = 1)
#-----Probabilidad de conectividad -----#

PC <- MK_dPCII(nodes = Parches,
  attribute = NULL,
  area_unit = "ha",
  distance = list(type = "edge", keep = 0.1),
  LA = a_paisaje,
  overall = TRUE,
  onlyoverall = FALSE,
  metric = "PC",
  probability = 0.5,
  distance_thresholds = 10000,
  parallel = FALSE,
  intern = TRUE)

PC
write_xlsx(PC, path = "E:/Estudio/Proyecto/PC.xlsx")

t20_dPC <- PC$node_importances_d10000 %>%
  arrange(desc(dPC)) %>%
  slice(1:20)
t20_dPC

#dPC
breaks <- classInt::classIntervals(PC$node_importances_d10000$dPC,
  n = 9, style = "jenks")
PC$node_importances_d10000 <- PC$node_importances_d10000 %>%
  mutate(dPC_q = cut(dPC,
    breaks = breaks$brks,
    include.lowest = TRUE,
    dig.lab = 5))
dPC <- ggplot() +
  geom_sf(data = Paisaje, fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = PC$node_importances_d10000, 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)
)

```

```

#20 parches dPC mayor
dPC_t20 <- ggplot() +
  geom_sf(data = Paisaje, fill = NA, color = "gray70") +
  geom_sf(data = t20_dPC, aes(fill = dPC), color = "black", size = 0.2) +
  scale_fill_viridis_c(option = "C", name = "dPC (top 20)") +
  theme_minimal() +
  labs(
    title = "Top 20 parches según dPC",
    fill = "dPC"
  ) +
  theme(
    legend.position = "right",
    plot.title = element_text(hjust = 0.5)
  )

```

```

grid.arrange(dPC, dPC_t20, ncol = 2, nrow = 1)

```

```

#dPCintra
breaks <- classInt::classIntervals(PC$node_importances_d10000$dPCintra,
  n = 9, style = "jenks")
PC$node_importances_d10000 <- PC$node_importances_d10000 %>%
  mutate(dPC_q = cut(dPCintra,
    breaks = breaks$brks,
    include.lowest = TRUE,
    dig.lab = 5))

```

```

dPCintra <- ggplot() +
  geom_sf(data = Paisaje, fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = PC$node_importances_d10000, aes(fill = dPC_q,
    color = "black", size = 0.1) +
  scale_fill_brewer(palette = "RdYlGn", direction = 1, name = "dPCintra (jenks)") +
  theme_minimal() +
  labs(
    title = "dPCintra",
    fill = "dPCintra"
  ) +
  theme(
    legend.position = "right",
    plot.title = element_text(hjust = 0.5)
  )

```

```

#dPCflux
breaks <- classInt::classIntervals(PC$node_importances_d10000$dPCflux,
  n = 9, style = "jenks")
PC$node_importances_d10000 <- PC$node_importances_d10000 %>%
  mutate(dPC_q = cut(dPCflux,
    breaks = breaks$brks,
    include.lowest = TRUE,

```

```

    dig.lab = 5))

dPCflux <- ggplot() +
  geom_sf(data = Paisaje, fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = PC$node_importances_d10000, 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)
  )

#dPCconector
breaks <- classInt::classIntervals(PC$node_importances_d10000$dPCconector,
  n = 9, style = "jenks")
PC$node_importances_d10000 <- PC$node_importances_d10000 %>%
  mutate(dPC_q = cut(dPCconector,
    breaks = breaks$brks,
    include.lowest = TRUE,
    dig.lab = 5))

dPCconect <- ggplot() +
  geom_sf(data = Paisaje, fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = PC$node_importances_d10000, aes(fill = dPC_q),
    color = "black", size = 0.1) +
  scale_fill_brewer(palette = "RdYlGn", direction = 1, name = "dPCconector (jenks)") +
  theme_minimal() +
  labs(
    title = "dPCconector",
    fill = "dPCconector"
  ) +
  theme(
    legend.position = "right",
    plot.title = element_text(hjust = 0.5)
  )

grid.arrange(dPCintra, dPCflux, dPCconect, ncol = 3, nrow = 1)

```

Referencias

- Cáceres–Martínez, C. H., Rivera–Torres, C. Y., López–Orjuela, H. A., Zamora–Abrego, J. G., & González–Maya, J. F. (2020). Viviendo en los Andes: registros notables de la distribución altitudinal del oso andino *Tremarctos ornatus* (Ursidae) en Boyacá, Colombia. *Miscel·lània Zoològica*, 18, 161-171.
- Castellanos, A. (2011). Citado en: *Plan de acción del oso andino 25-10-2020*. Ministerio de Medio Ambiente y Aguas
- Gobernación de Santander. (2024). Plan de Desarrollo Departamental 2024-2027: Es Tiempo de Santander. Bucaramanga, Colombia.
- Haddad et al. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, 1(2): e1500052.

- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2022). Políticas orientadas por misiones 2022- 2026. Bogotá, Colombia.
- P. Potapov, X. Li, A. Hernandez-Serna, A. Tyukavina, M.C. Hansen, A. Kommareddy, A. Pickens, S. Turubanova, H. Tang, C.E. Silva, J. Armston, R. Dubayah, J. B. Blair, M. Hofton (2020) Mapping and monitoring global forest canopy height through integration of GEDI and Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 112165. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112165>
- Rechberger, J., Wallace, R. B., & Ticona, H. (2001). Un movimiento de larga distancia de un oso andino (*Tremarctos ornatus*) en el norte del Departamento de La Paz, Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 36, 73-74.
- Velez-Liendo, X. & García-Rangel, S. 2017. *Tremarctos ornatus* (errata version published in 2018). *The IUCN Red List of Threatened Species* 2017: e.T22066A123792952. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.T22066A45034047.en>. Accessed on 31 August 2025.