

Prioridades de Conservación y Restauración para las Áreas Protegidas del Cantón Quito, Provincia de Pichincha, Ecuador

1. Introducción:

Los sitios de conservación dentro del cantón Quito como las Áreas Protegidas (SNAP), Bosques Protectores y Áreas de Conservación Privada, enfrenta una creciente presión antrópica debido a su expansión urbana, actividades agrícolas y redes viales. Esta presión genera fragmentación del hábitat, un proceso donde extensiones continuas de vegetación nativa son divididas en parches aislados, lo que compromete la integridad ecológica del paisaje. La conectividad funcional, entendida como la facilidad con la que los organismos pueden moverse entre estos parches de hábitat, es crucial para mantener procesos ecológicos vitales como la polinización, la dispersión de semillas, el flujo genético y la capacidad de las especies para adaptarse al cambio climático. La pérdida de conectividad conduce al aislamiento de poblaciones, aumentando su riesgo de extinción local. Este estudio se fundamenta en la justificación ecológica de que un paisaje conectado es más resiliente y capaz de sostener la biodiversidad a largo plazo. La pregunta de investigación central es: ¿Cuáles son los parches de hábitat clave dentro del Cantón Quito que, por su posición estratégica en el paisaje, presentan la mayor prioridad para acciones de conservación y restauración que mejoren la conectividad estructural y funcional del SNAP a nivel cantonal?

2. Metodología:

Descripción del área de estudio: El área de estudio comprende el Cantón Quito, ubicado en la Provincia de Pichincha, Ecuador. Este cantón alberga una diversidad altitudinal única, que va desde los valles secos interandinos hasta los páramos de alta montaña, incluyendo volcanes activos como el Guagua Pichincha. Esta variabilidad genera una riqueza de ecosistemas que sustentan una biodiversidad excepcional, pero que a la vez se encuentra altamente fragmentada por la ciudad de Quito y sus alrededores.

Tipo de datos usados: Se utilizó información secundaria geoespacial oficial obtenida del Geoportal del Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador (MAATE):

- Sistema Nacional de Áreas Protegidas (2025);
- Bosques y Vegetación Protectora (2025);
- Áreas de Conservación Privada (Individual y Colectiva) (2024).

Estas tres capas fueron integradas en un solo shapefile que representa la "Red de Conservación" del Cantón Quito. Previo a la integración, los diferentes shapefile base fueron disueltos, con el objetivo fundamental de eliminar los límites administrativos internos y evitar tanto la sobreposición de áreas como la generación de bordes artificiales e innecesarios entre áreas continuas de vegetación. Este proceso garantiza que las unidades de análisis representen parches de hábitat ecológicamente coherentes y contiguos. Cada polígono resultante en esta capa unificada se consideró entonces un parche de hábitat discreto (nodo) para el análisis de conectividad posterior.

Índice(s) de conectividad/fragmentación: Se seleccionaron tres índices de conectividad integrales, calculados con el software R por intermedio del paquete Makurhini:

- Probabilidad de Conectividad focal (PCf): Mide la probabilidad de que dos individuos, colocados al azar en el paisaje, se encuentren dentro del mismo parche de hábitat. Es más sensible a los enlaces funcionales entre parches.

- Índice Integral de Conectividad focal (IICf): Evalúa la importancia de un nodo basándose en su área y en la conexión con todos los demás nodos. Es sensible a la superficie del hábitat.
- Índice de Conectividad Compuesto (CCIf): Combina el valor de dIIC (importancia para la conectividad intra-nodo) y dPC (importancia para la conectividad inter-nodo) en una única métrica normalizada, lo que permite una priorización integral de los nodos.

Parámetros y configuraciones aplicadas: Se modeló la conectividad para especies con una distancia de dispersión de 10 km (con una probabilidad de dispersión del 0.5), lo que representa especies de mamíferos medianos o aves con movilidad media. La distancia entre pares de nodos se calculó de borde a borde (edge-to-edge). Para cada uno de los nodos (parches de hábitat) se definió un área de influencia o buffer de 20 km a su alrededor, con el propósito de capturar las potenciales conexiones ecológicas con otros parches dentro de este umbral de distancia, permitiendo así un análisis de conectividad que considera las interacciones a escala de paisaje.

3. Resultados

El análisis de conectividad identificó 227 nodos (parches de conservación) dentro de la Red de Conservación del Cantón Quito, los cuales en conjunto abarcan un área total de 121568,4 hectáreas dentro de un paisaje de 4200091,5 hectáreas (Figura 1 y Anexo 2).

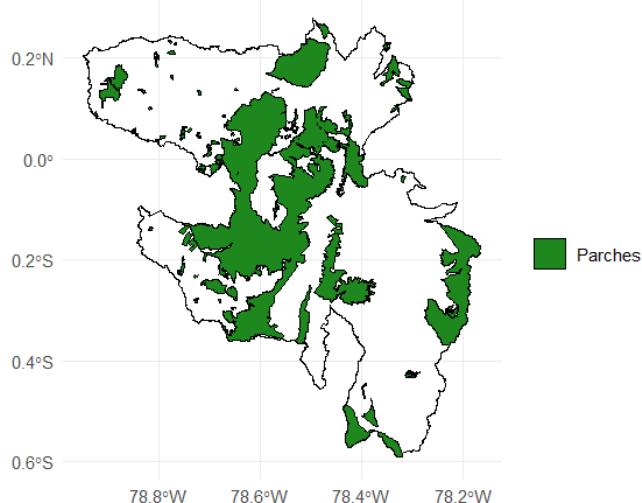


Figura 1. Red de Conservación del Cantón Quito (227 nodos)

El análisis de las áreas de conservación dentro del paisaje de estudio muestra un tamaño promedio de parche de 535.5 ha, mientras que la superficie ocupada por los bordes de los parches asciende a 1505.8 ha. Por otra parte, el área núcleo totalizó 72342.2 ha, lo que representa una porción significativa de la superficie del paisaje (Figura 2 y Anexo 2).

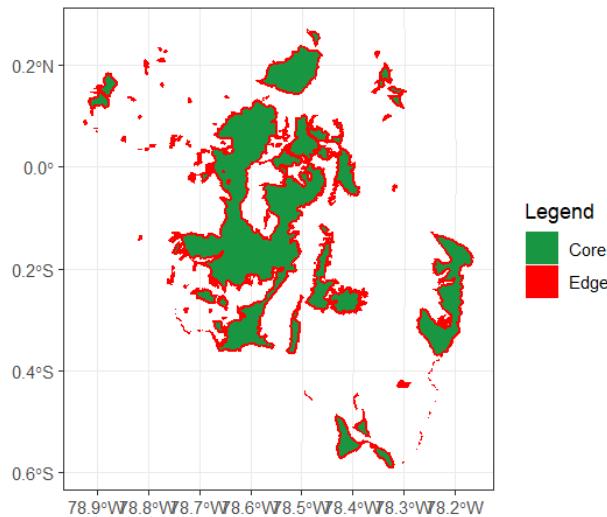


Figura 2. Área Núcleo y Borde de la Red de Conservación del Cantón Quito

Los valores del Índice de Probabilidad de Conectividad focal (PCf) obtenidos, que oscilan entre 0.0014 (valor más bajo) y 0.1108 (valor más alto), reflejan diferencias significativas en la capacidad de los parches para facilitar el movimiento y la interacción de especies dentro del paisaje del Cantón Quito (Figura 3). Los parches con valores de $PCf \geq 0.0727$ son críticos para mantener la conectividad ecológica, ya que por su posición estratégica actúan como nodos de enlace o "stepping stones" que facilitan el flujo biológico entre los diferentes parches del paisaje.

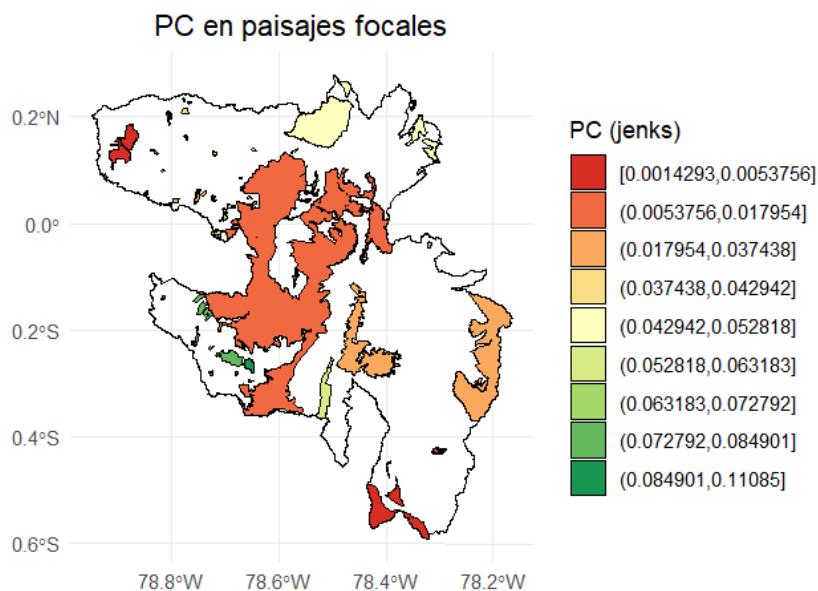


Figura 3. Probabilidad de Conectividad focal (PCf) para la Red de Conservación del Cantón Quito

Los resultados del Índice Integral de Conectividad focal (IICf) se encuentran entre 0.0015 (valor más bajo) y 0.1368 (valor más alto), lo que evidencia diferencias significativas en la contribución estructural de los parches a la conectividad general del paisaje en el Cantón Quito (Figura 4). Los parches con valores de $IICf \geq 0.1022$ son esenciales para mantener la integridad estructural de la

red de conservación, ya que representan áreas grandes, bien conectadas y con alta calidad de hábitat, que sirven como fuentes de biodiversidad y permiten procesos ecológicos clave.

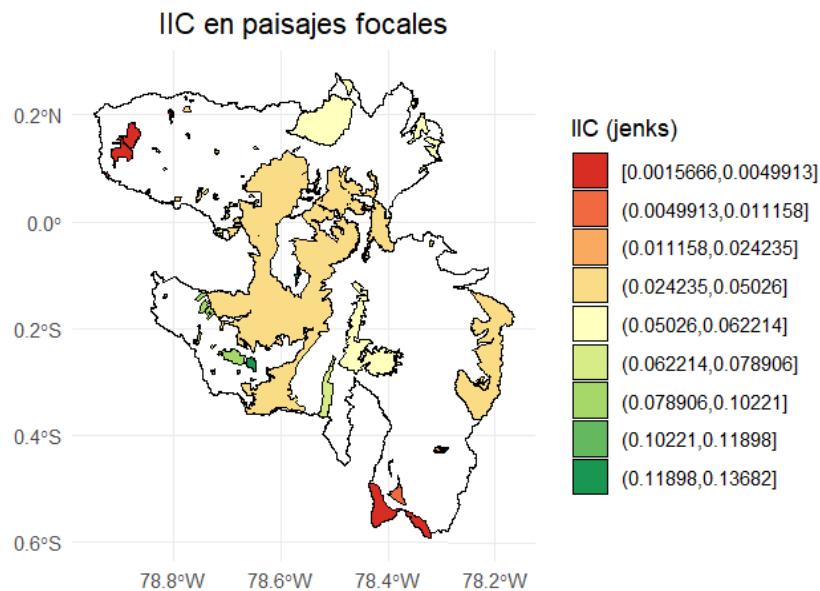


Figura 4. Índice Integral de Conectividad focal (IICf) para la Red de Conservación del Cantón Quito

El Índice de Conectividad Compuesto (CCIf) presentó valores entre 0 (valor más bajo) y 1.6812 (valor más alto). Estos datos reflejan la importancia relativa integral de cada parche para mantener la conectividad estructural y funcional del paisaje en el Cantón Quito (Figura 5). Los parches con valores de CCIf ≥ 1 son críticos para la integridad ecológica del paisaje, ya que representan áreas núcleo prioritarias para la conservación.

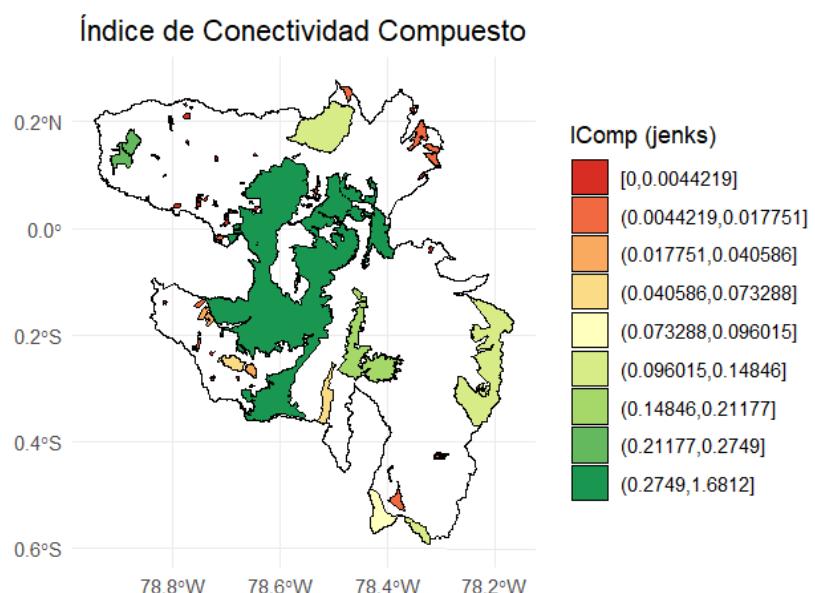


Figura 5. Índice de Conectividad Compuesto (CCIf) para la Red de Conservación del Cantón Quito

4. Discusión:

Los resultados obtenidos mediante los índices PCf, IICf y CCIf proveen una evaluación robusta y multidimensional de la conectividad ecológica en el Cantón Quito. La identificación de parches con valores de PCf ≥ 0.0727 resalta aquellos que funcionan como eslabones críticos ("stepping stones") para el movimiento de especies, coincidiendo con la literatura que enfatiza su papel vital en paisajes fragmentados para mantener el flujo genético y permitir respuestas biogeográficas al cambio climático (Saura & Rubio, 2010). Por otro lado, los parches con alto IICf (≥ 0.1022) representan grandes masas de hábitat de alta calidad que actúan como fuentes poblacionales y núcleos de biodiversidad, un hallazgo consistente con estudios previos que señalan la correlación positiva entre el área del parche y su contribución a la conectividad estructural (Pascual-Hortal & Saura, 2006). La integración de estas métricas en el índice compuesto CCIf permitió priorizar de manera integral los parches que son simultáneamente grandes, bien conectados y cruciales para el flujo funcional, optimizando así la asignación de esfuerzos de conservación.

Entre las limitaciones del estudio se encuentra la dependencia de datos secundarios oficiales, cuya escala y actualización pueden afectar la precisión de los límites de los parches. Además, el modelo de conectividad se parametrizó para un grupo genérico de especies con una distancia de dispersión de 10 km, lo que podría no capturar los requerimientos específicos de taxa con movilidad menor o mayor. Futuras investigaciones deberían incorporar modelos multi-especie y utilizar datos de telemetría o genéticos para validar empíricamente los corredores de conectividad propuestos, refinando así las prioridades de conservación y restauración.

5. Conclusión:

Este estudio identifica de manera concluyente los parches de hábitat prioritarios para la conservación y restauración dentro del Cantón Quito, esenciales para salvaguardar la integridad ecológica y la biodiversidad a largo plazo. Los hallazgos clave revelan que la Red de Conservación, compuesta por 227 nodos, contiene parches críticos que funcionan tanto como núcleos de biodiversidad (alto IICf) como enlaces funcionales estratégicos (alto PCf), cuya integración en el índice CCIf ofrece una herramienta poderosa para la priorización.

Las implicaciones para el manejo del paisaje son inmediatas y prácticas. Las autoridades ambientales, como el MAATE y el gobierno local, deben enfocar los esfuerzos de protección legal y manejo activo en los parches con valores de CCIf ≥ 1 , garantizando su preservación a perpetuidad. Simultáneamente, se deben implementar estrategias de restauración ecológica activa en las zonas de borde y entre los parches prioritarios identificados con alto PCf para reconectar el paisaje, mitigar los efectos de la fragmentación y construir resiliencia frente a las presiones antrópicas y el cambio climático (Hilty et al., 2020). Este enfoque dual de conservar lo esencial y conectar lo fragmentado es fundamental para asegurar la persistencia de los procesos ecológicos en el paisaje singular del Distrito Metropolitano de Quito.

6. Referencias:

Hilty, J., Worboys, G. L., Keeley, A., Woodley, S., Lausche, B., Locke, H., Carr, M., Pulsford, I., Pittock, J., White, J. W., Theobald, D. M., Levine, J., Reuling, M., Watson, J. E. M., Ament, R., & Tabor, G. M. (2020). Guidelines for conserving connectivity through ecological networks and corridors. IUCN, International Union for Conservation of Nature. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.PAG.30.en>

Pascual-Hortal, L., & Saura, S. (2006). Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape Ecology*, 21(7), 959–967. <https://doi.org/10.1007/s10980-006-0013-z>

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. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.05760.x>

7. Material anexo: Script de R (.R o .Rmd) con el análisis completo y comentado.

Anexo 1. Estadísticos de fragmentación a nivel de paisaje

Metric	Value
Patch area (ha)	121568.3787
Number of patches	227.0000
Size (mean)	535.5435
Patches < minimum patch area	203.0000
Patches < minimum patch area (%)	1.5367
Total edge	1505.8010
Edge density	0.0124
Patch density	0.0540
Total Core Area (ha)	72342.2843
Cority	0.0705
Shape Index (mean)	Inf
FRAC (mean)	0.9458
MESH (ha)	14306.3975

Anexo 2. Script de R

```
##CARGA LIBRERIAS
library(Makurhini)
library(sf)
library(ggplot2)
library(RColorBrewer)
library(purrr)
library(classInt)
library(dplyr)
library(writexl)

##CARGAR CAPAS
habitat_nodes <- read_sf("C:/Users/usuar/OneDrive/Documentos/2.
Formación/Cursos/REDBIOMA/3_Makurhini/Final/0_Datos/parches_DMQ.shp")
nrow(habitat_nodes)
paisaje <- read_sf("C:/Users/usuar/OneDrive/Documentos/2.
Formación/Cursos/REDBIOMA/3_Makurhini/Final/0_Datos/area_DMQ.shp")

##GRAFICAR AREA DE ESTUDIO
ggplot() +
  geom_sf(data = paisaje, aes(color = "Study area"), fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = habitat_nodes, aes(color = "Patches"), fill = "forestgreen", linewidth =
0.5) +
  scale_color_manual(name = "", values = "black")+
  theme_minimal() +
  theme(axis.title.x = element_blank(),
```

```

axis.title.y = element_blank()

#CALCULO DE AREA DE ESTUDIO
area_paisaje <- st_area(paisaje)
area_paisaje <- unit_convert(area_paisaje, "m2", "ha")

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

##ESTADISTICOS A NIVEL DE PAISAJE
class(Fragmentacion)
Fragmentacion$`Summary landscape metrics (Viewer Panel)`

##PRIORIDADES DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACION
#MK FRAGMENTACION PC
testPC <- MK_Focal_nodes(nodes = habitat_nodes,
                           id = "id",
                           attribute = NULL,
                           raster_attribute = NULL,
                           fun_attribute = NULL,
                           distance = list(type = "edge", keep = 0.1),
                           metric = "PC",
                           probability = 0.5,
                           distance_thresholds = 10000,
                           search_buffer = 20000,
                           fragmentation = FALSE,
                           parallel = NULL,
                           intern = FALSE)

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

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

# Graficar en ggplot2 usando las clases Jenks
ggplot() +
  geom_sf(data = paisaje, fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = PC, aes(fill = dPC_q), color = "black", size = 0.1) +
  scale_fill_brewer(palette = "RdYIGn", direction = 1, name = "PC (jenks)") +
  theme_minimal() +
  labs(
    title = "PC en paisajes focales",
    fill = "PC"

```

```

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

#MK FRAGMENTACION IIC
testIIC <- MK_Focal_nodes(nodes = habitat_nodes,
                           id = "id",
                           attribute = NULL,
                           raster_attribute = NULL,
                           fun_attribute = NULL,
                           distance = list(type = "edge", keep = 0.1),
                           metric = "IIC",
                           probability = 0.5,
                           distance_thresholds = 10000,
                           search_buffer = 20000,
                           fragmentation = FALSE,
                           parallel = NULL,
                           intern = FALSE)

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

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

# Graficar en ggplot2 usando las clases Jenks
ggplot() +
  geom_sf(data = paisaje, fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = IIC, aes(fill = dIIC_q), color = "black", size = 0.1) +
  scale_fill_brewer(palette = "RdYIGn", direction = 1, name = "IIC (jenks)") +
  theme_minimal() +
  labs(
    title = "IIC en paisajes focales",
    fill = "IIC"
  ) +
  theme(
    legend.position = "right",
    plot.title = element_text(hjust = 0.5)
  )

##Índice de Conectividad Compuesto (CCf).
# Calcular los intervalos de Jenks para strength
breaks <- classInt::classIntervals(testPC$IComp, n = 9, style = "jenks")

# Crear una nueva variable categórica con los intervalos
PC <- testPC %>%
  mutate(dPC_q = cut(IComp,
                     breaks = breaks$brks,

```

```
include.lowest = TRUE,
dig.lab = 5))

# Graficar en ggplot2 usando las clases Jenks
ggplot() +
  geom_sf(data = paisaje, fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = PC, aes(fill = dPC_q), color = "black", size = 0.1) +
  scale_fill_brewer(palette = "RdYIGn", direction = 1, name = "IComp (jenks)") +
  theme_minimal() +
  labs(
    title = "Índice de Conectividad Compuesto",
    fill = "IComp"
  ) +
  theme(
    legend.position = "right",
    plot.title = element_text(hjust = 0.5)
  )

#EXPORTAR BASES
write_xlsx(IIC, "C:/Users/usuar/OneDrive/Documentos/2.
Formación/Cursos/REDBIOMA/3_Makurhini/Final/2_Resultados/ICC.xlsx")
write_xlsx(PC, "C:/Users/usuar/OneDrive/Documentos/2.
Formación/Cursos/REDBIOMA/3_Makurhini/Final/2_Resultados/PC.xlsx")
```