

Evaluar el aporte de la restauración ecológica, tras 18 años de gestión en los páramos del Distrito Metropolitano de Quito

Viviana Toapanta E.

1. Introducción

El Fideicomiso Mercantil Fondo Ambiental para la Protección de las Cuencas y Agua FONAG, es un mecanismo patrimonial con vida útil de 80 años, que opera desde enero del 2000 y actúa como un mecanismo económico financiero permanente y que utiliza los rendimientos de su patrimonio para cofinanciar las actividades y proyectos de conservación, así como mantener las cuencas hidrográficas y satisfacer las necesidades humanas y productivas en el Distrito Metropolitano de Quito y sus áreas de influencia. Para cumplir con su objetivo realiza programas y proyectos a corto y largo plazo de rehabilitación, cuidado y conservación de las fuentes de agua Plan Estratégico - FONAG.

El FONAG a través del Programa de Recuperación de la Cobertura Vegetal-interviene a través de varios proyectos de restauración con especies nativas en diversos sitios, localizados en las cuencas hídricas de Guayllabamba y en los flancos interiores de las cuencas de la cordillera oriental y occidental desde el año 2005, preservando la calidad de los recursos naturales y la restauración de hábitats degradados, con especial interés en los hábitats con mayor influencia en la recarga hídrica como son los páramos(Nikolay Aguirre & Jonathan Torres, 2014).

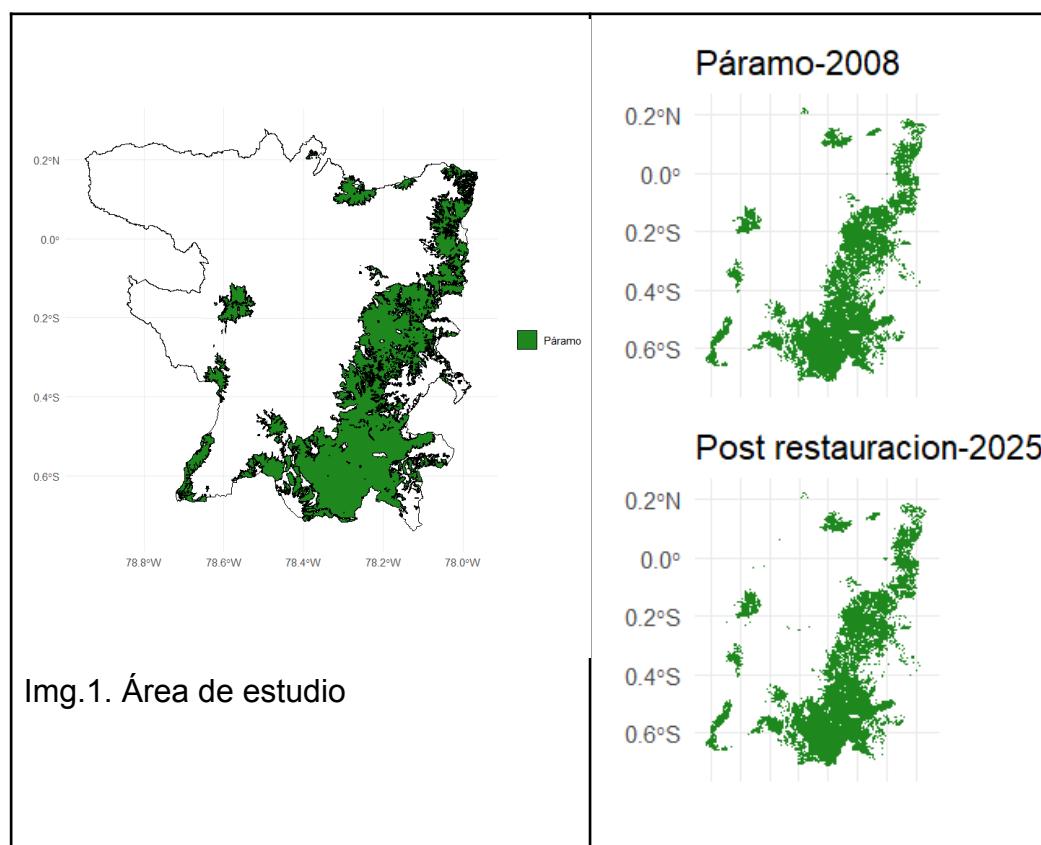
Los Páramos de Quito son ecosistemas estratégicos de alta montaña sobre los 3.000 metros de altura, vitales para la provisión del servicio hídrico. Su biodiversidad incluye pajonales, arbustales, bosques de Polylepis, flora adaptada a climas fríos extremos. Pese a la importancia que tienen los páramos andinos en la provisión de servicios ecosistémicos principalmente vinculados al agua, su dinámica actual, especialmente en Ecuador, se da bajo influencia humana; es por ello que la vegetación es un mosaico de estados que suceden unos a continuación de otros con diferentes regímenes de disturbio. Además, existen serias amenazas para la conservación de ese ecosistema, entre las cuales se destacan el pastoreo extensivo e intensivo, la agricultura, el establecimiento de plantaciones forestales con especies exóticas, los incendios de vegetación y la minería(Nikolay Aguirre & Jonathan Torres, 2014).

A lo largo de su trayectoria, el PRCV ha restaurado más de 2000 ha dentro del ámbito de trabajo del FONAG, restauraciones que han sido realizadas en base en la localización de las fuentes de agua y la voluntad de los propietarios de los predios, sin tener como base una estrategia de priorización de sitios. El presente documento, pretende evaluar si las restauraciones realmente aportan

a la conectividad de los ecosistemas de páramo y prioriza los principales parches para futuros proyectos de restauración ecológica.

2. Metodología:

En presente estudio se desarrolla en el Ámbito de trabajo del FONAG, ubicado en la ciudad de Quito, provincia Pichincha, país Ecuador (Img1.). Como insumos de entrega se utilizó a) área del ámbito de trabajo y b) restauraciones ecológicas implementadas desde el 2008-2025.



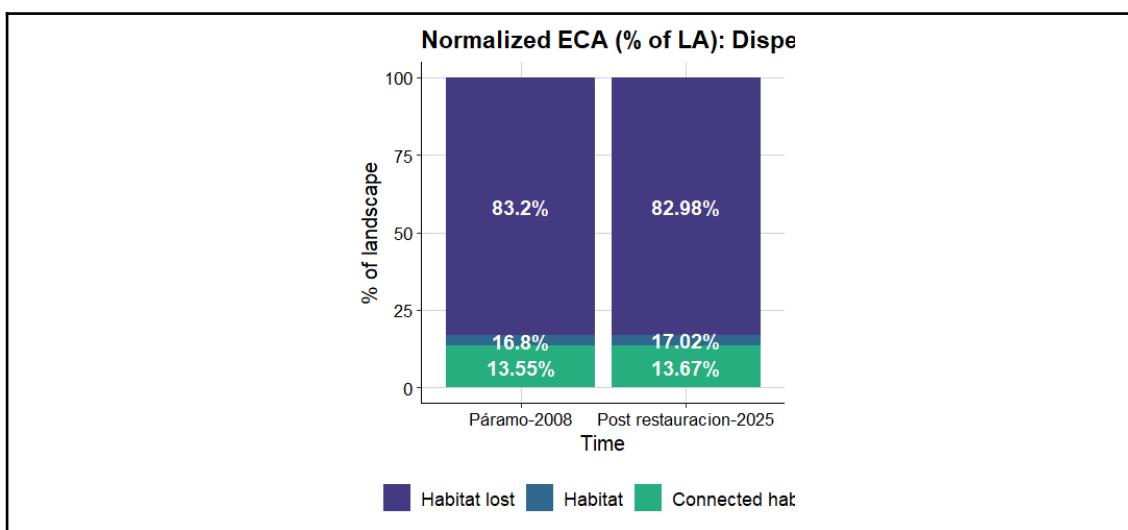
Para evaluar si las restauraciones realmente aportan a la conectividad de los ecosistemas de páramo, se realizó la comparación del **Índice de Área de Conectividad Equivalente-ECA**, índice definido como el tamaño de un único hábitat teóricamente conectado al máximo parche que proporcionaría el mismo valor de conectividad tal como se encontró en la red de hábitat existente(Dilts et al., 2016), en dos escenarios temporales sin acciones de restauración y con acciones de restauración. El índice se calibró para una distancia de 1km, considerando que se pretende evaluar la conectividad funcional del paisaje y los umbrales de movilidad varían según las especies, para el presente estudio

se ha tomado como referencia 1-5Km, distancia equivalente a la movilidad de mamíferos medianos como venados, conejos, lobos de páramo.

Para priorizar las áreas con mayor aporte a la conectividad del paisaje se utilizó las fracciones del Índice PC, DPC (Delta Probability of Connectivity, el cual permite la **identificación de nodos clave**, parches con mayor DPC son prioritarios para acciones de conservación y restauración.

3. Resultados

De acuerdo con los resultados, se observó una reducción del 0,22 % de hábitat degradado, equivalente a una ganancia de 1.304,4 hectáreas como consecuencia directa de las acciones de restauración ecológica implementadas en los últimos años. Este incremento, aunque porcentualmente modesto, representa un avance significativo considerando la alta fragmentación y presión antrópica que caracteriza los ecosistemas de páramo en la región de Quito.



Time	Max. Landscape attribute (ha)	Habitat area (ha)	Distance threshold	ECA (ha)	Normalized ECA (% of LA)	Normalized ECA (% of habitat area)
Páramo-2008	1092038	183410.1	1000	147998.2	13.55248	80.69251
Post restauracion-2025	1092038	185897.7	1000	149302.6	13.67192	80.31437

dA	dECA	rECA	dA/dECA comparisons	Type of change
-83.204791	-86.4475249	1.0389729	dECA < dA < 0	+ Connectivity loss
1.356307	0.8813288	0.6498004	dECA or dA gain	Habitat or connectivity gain

Aunque el porcentaje de restauración puede parecer reducido a escala del paisaje completo, su relevancia es ecológicamente significativa, ya que las áreas intervenidas incluyen nodos estratégicos con alta contribución a la

conectividad (alto DPC), potenciando el flujo de especies entre fragmentos, mejorando la conectividad ecológica.

Tal como se muestra en el Fig. 3., e acuerdo con el índice DPC (Delta Probability of Connectivity), los parches localizados en la Cordillera Occidental se identifican como los más críticos para la conectividad ecológica del paisaje a nivel de micro escala (local). Esto significa que la eliminación de estos parches ocasionaría una reducción significativa de la conectividad global del paisaje, evidenciando su papel central como nodos estratégicos que facilitan el flujo de organismos y la dispersión de semillas entre fragmentos. La importancia de estos parches se explica por su ubicación estratégica y tamaño relativo, que permiten mantener corredores funcionales, asegurar la cohesión de la red de hábitats, incluso en un paisaje fragmentado. Este resultado coincide con estudios previos que destacan que la conectividad multiescala y la teoría de grafos resaltan áreas críticas para la conservación del hábitat en el contexto de los cambios en el uso del suelo y el clima(Dilts et al., 2016).

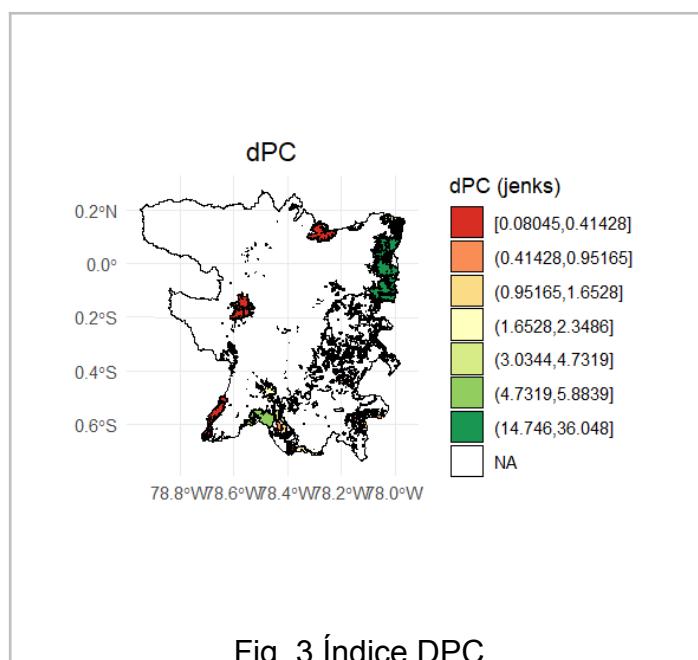


Fig. 3 Índice DPC

4. Discusión

Las estrategias de restauración ecológica implementadas durante los últimos 12 años han tenido un efecto positivo en la conectividad funcional del ecosistema de páramo en Quito. No obstante, se requieren mayores esfuerzos, particularmente en la Cordillera Occidental, donde los parches de restauración han demostrado ser fundamentales para mantener la conectividad del sistema. Esto resalta el papel de los pequeños parches, cuya importancia ecológica es

reconocida para muchas especies que habitan paisajes fragmentados, aunque su contribución potencial como pilares para mantener la conectividad general del paisaje ha recibido menor atención (Herrera et al., 2017).

Los páramos de Quito se encuentran distribuidos en dos cordilleras con características contrastantes. La Cordillera Oriental —incluyendo el flanco oriental de Quito y áreas como el volcán Antisana, Papallacta, Cayambe-Coca y Sumaco— alberga grandes bloques de páramo, bosque andino y vegetación secundaria relativamente conservada. En esta zona, los parches forman un mosaico más continuo y presentan menor fragmentación, debido principalmente a la menor presión urbana y a la presencia de áreas protegidas, reservas hídricas y haciendas. En contraste, la Cordillera Occidental —flanco occidental de Quito, incluyendo Atacazo, Guagua Pichincha, Ruccu y Pululahua— presenta una conectividad más fragmentada, asociada a la expansión agrícola y ganadera, asentamientos humanos dispersos y vías, presiones que se relacionan con la proximidad a la ciudad.

La conectividad ecológica de la Cordillera Occidental también puede estar influenciada por su topografía, caracterizada por mayores distancias entre los volcanes Atacazo, Ruccu, Pululahua y una geomorfología más accidentada. Incluir estas barreras naturales en futuros análisis podría mejorar la comprensión de la conectividad y orientar mejor las estrategias de restauración.

Por otro lado, la capacidad de dispersión varía considerablemente entre taxones, lo que determina la contribución relativa de cada parche a la conectividad general (Herrera et al., 2017). Por ejemplo, la mayoría de las plantas presentan una distancia media de dispersión menor a 50 m, mientras que algunos mamíferos pueden desplazarse fácilmente más de 1000 m a través de matrices hostiles. En plantas, semillas de herbáceas y arbustos suelen dispersarse <50–200 m por viento o gravedad(McEvoy et al., 1987), y especies como *Polylepis* pueden alcanzar hasta 500–1000 m en condiciones favorables, aunque la mayoría de las semillas caen cerca del sitio madre. En aves dispersoras de semillas, como colibríes o tangaras, los desplazamientos pueden superar los 500 m y alcanzar varios kilómetros, conectando fragmentos más distantes(Traveset et al., 2014).

En este contexto, la planificación de restauración debe priorizar escalas locales y acciones finamente espaciales, enfocándose en reducir la distancia efectiva entre parches y optimizar el establecimiento de núcleos de restauración. Sin embargo, estas acciones deben integrarse dentro de un marco de conectividad global, considerando la estructura general del paisaje y la variabilidad en las capacidades de dispersión de diferentes taxones. Esto permitirá mejorar la resiliencia de los ecosistemas de páramo y asegurar la funcionalidad de la red de parches a diferentes escalas espaciales.

5. Conclusión:

Las acciones restauración ecológica realizadas aportan positivamente a la reducción de la degradación del paisaje y mejoran significativamente la conectividad ecológica, la efectividad de los programas de restauración en páramos depende de su capacidad para diseñar intervenciones que reduzcan las distancias de aislamiento entre parches, promuevan la regeneración natural y fortalezcan la conectividad funcional en escalas mayores acordes con la biología de dispersión de las especies dominantes.

La Cordillera Oriental mantiene parches de páramo grandes y cercanos, favoreciendo corredores funcionales para especies de alta movilidad y conservándose gracias a parques nacionales y áreas de protección hídrica. En contraste, la Cordillera Occidental presenta fragmentación marcada, con parches pequeños que pierden conectividad rápidamente, lo que los convierte en prioridades para futuras restauraciones y acciones de conservación que fortalezcan la conectividad ecológica de los páramos de Quito.

6. Referencias

- Dilts, T. E., Weisberg, P. J., Leitner, P., Matocq, M. D., Inman, R. D., Nussear, K. E., & Esque, T. C. (2016). Multiscale connectivity and graph theory highlight critical areas for conservation under climate change. *Ecological Applications*, 26(4), 1223–1237. <https://doi.org/10.1890/15-0925>
- Herrera, L. P., Sabatino, M. C., Jaimes, F. R., & Saura, S. (2017). Landscape connectivity and the role of small habitat patches as stepping stones: an assessment of the grassland biome in South America. *Biodiversity and Conservation*, 26(14), 3465–3479. <https://doi.org/10.1007/S10531-017-1416-7>
- McEvoy, P. B., Cox, C. S., McEvoy, P. B., & Cox, C. S. (1987). Wind Dispersal Distances in Dimorphic Achenes of Ragwort, *Senecio Jacobaea*. *Ecol*, 68(6), 2006–2015. <https://doi.org/10.2307/1939891>
- Nikolay Aguirre, & Jonathan Torres. (2014). *Restauración ecológica de los páramos de Jatunhuaycu: degradación, sistemas de referencia y estrategias de restauración* (Primera, Vol. 1). Fondo para la Protección del Agua -FONAG.
- Plan Estratégico - FONAG*. (2025, August 29).
<https://www.fonag.org.ec/web/plan-estrategico/>

Traveset, A., Heleno, R., & Nogales, M. (2014). The ecology of seed dispersal. In *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities* (pp. 62–93).
<https://doi.org/10.1079/978117880641836.0062>

7. Anexo

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

##datos de entrada
habitat_nodes <- read_sf("C:/data/fin/habitat.shp")
nrow(habitat_nodes)
restauracion_nodes <- read_sf("C:/data/fin/restauracion.shp")
nrow(restauracion_nodes)
paisaje <- read_sf("C:/data/fin/paisaje.shp")

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

```
##calcupo PC, distancia 1km, LA:NULL
```

```
PCpre <- MK_dPCIIC(nodes = habitat_nodes,  
                     attribute = NULL,  
                     area_unit = "ha",  
                     distance = list(type = "edge", keep = 0.1),  
                     LA = NULL,  
                     onlyoverall = TRUE,  
                     metric = "PC",  
                     probability = 0.5,  
                     distance_thresholds = 1000,  
                     intern = TRUE) #1 km
```

PCpre

```
PCpost <- MK_dPCIIC(nodes = restauracion_nodes,  
                     attribute = NULL,  
                     area_unit = "ha",  
                     distance = list(type = "edge", keep = 0.1),  
                     LA = NULL,  
                     onlyoverall = TRUE,  
                     metric = "PC",  
                     probability = 0.5,  
                     distance_thresholds = 1000,  
                     intern = TRUE) #1 km
```

PCpost

```
## Cambiosn pre y post restauracion en el tiempo
```

```
lista_parches <- list("pre" = habitat_nodes,
                      "post" = restauracion_nodes)

library(ggplot2)
library(patchwork)

p1 <- ggplot() +
  geom_sf(data = habitat_nodes, fill = "forestgreen", color = NA) +
  ggtitle("Páramo-2008") +
  theme_minimal() +
  theme(axis.text.x = element_blank(),
        axis.ticks.x = element_blank())

p2 <- ggplot() +
  geom_sf(data = restauracion_nodes, fill = "forestgreen", color = NA) +
  ggtitle("Post restauracion-2025") +
  theme_minimal() +
  theme(axis.text.x = element_blank(),
        axis.ticks.x = element_blank())

# Combinar los gráficos en una cuadrícula 2x2 usando patchwork
p_final <- p1 / p2
print(p_final)
```

```
#calculo dECA
dECA_test <- MK_dECA(nodes= lista_parches,
                        attribute = NULL,
                        area_unit = "ha",
                        distance = list(type= "edge", keep = 0.1),
                        metric = "PC",
                        probability = 0.05,
                        distance_thresholds = 1000,
                        LA = Max_atributo,
                        plot= c("Páramo-2008", "Post restauracion-2025"),
                        intern = FALSE)#Puedes cambiar a TRUE para ver el avance
```

```
dECA_test$dECA_table
```

```
##priorizar sitios para constuar acciones de mantenimiento de restauraciones y conservacion
```

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

```
PCpost <- MK_dPCIIC(nodes = restauracion_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 = 1000,  
intern = TRUE) #1 km
```

PCpost

```
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 <- PCpost %>%  
  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 = "RdYIGn", direction = 1, name = "dPC (jenks)") +  
  theme_minimal() +  
  labs(  
    title = "dPC",  
    fill = "dPC"  
) +
```

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