



XV WORLD FORESTRY CONGRESS

Building a Green, Healthy and Resilient Future with Forests

2–6 May 2022 | Coex, Seoul, Republic of Korea

Dinámica del hábitat de las comunidades de plantas típicas de los Andes Orientales Colombianos – Suramérica.

Omar A. Melo¹, Karen R. López²

¹[omelo@ut.edu.co, Universidad del Tolima, ORCID: 0000-0001-5266-4966]

²[klopezm@ut.edu.co, ORCID: 0000-0003-3846-3097]

Resumen

La comprensión de los factores que controlan la dinámica de las poblaciones vegetales es fundamental para la generación de herramientas que permitan la cuantificación de los bienes y servicios generados por los ecosistemas. Los páramos colombianos se ubican principalmente en los Andes del norte de Suramérica, dominados por especies de los géneros *Espeletia* y *Espeletiopsis* de la familia Asteraceae. Se determinó la mortalidad y el reclutamiento en la vegetación paramuna como efecto del clima cambiante en las temporadas de lluvia y sequía durante 5 años, en 6 localidades y en el gradiente altitudinal comprendido entre los 3000 y 3800 metros. Se estableció una red de 200 parcelas permanentes de monitoreo (100 m²), en los páramos de Guerrero y Guacheneque de la cordillera oriental. Igualmente se monitoreó la variabilidad climática, registrando información en las temporadas de sequía y lluvia. Se realizó un análisis de varianza de múltiples factores (Localidad, gradiente altitudinal y temporada climática) con un nivel de confianza del 95%. Como variables respuestas las tasas anuales de mortalidad (rm%) y reclutamiento (rr%). La mortalidad promedio fue del 12,5%. En el periodo seco este valor supera 18% clasificando la mortalidad como catastrófica por el efecto del déficit hídrico del suelo. La parte media del gradiente altitudinal ubicado entre 3.450 y 3.500 metros genera la mayor mortalidad para la vegetación superando en promedio el 16%. En la temporada lluviosa la mortalidad solo alcanza el 8%. Al comparar la tasa anual de mortalidad entre las temporadas climáticas, estas difieren por más del 70%. El valor promedio del reclutamiento fue del 19%, disminuyendo al 7% en la temporada de sequía. El mayor valor del reclutamiento fue de 29% en la temporada de lluvias. La parte media del gradiente altitudinal manifestó el mayor valor con 21%. Estos resultados contribuyen a la identificación de herramientas de restauración y conservación para estas comunidades.

Introducción, ámbito de aplicación y objetivos principales

El monitoreo en los ecosistemas se define como una serie temporal de mediciones de variables para los diferentes componentes del medio físico, medio biótico y el ambiente, a partir de una línea base construida con el propósito de identificar tendencias y efectos acumulativos para describir el estado del ambiente (Medellín, 2019). Desde el punto de vista ecológico es definido como la herramienta que permite evaluar el estado de la biodiversidad y sus servicios, con el fin de aprender y mejorar en torno al manejo y la conservación de estos, a partir de información recolectada. La comprensión de los factores que controlan la dinámica de las poblaciones vegetales es fundamental para la generación de herramientas que permitan la cuantificación de los bienes y servicios generados por los ecosistemas. La dinámica poblacional involucra el crecimiento, la mortalidad y el reclutamiento de los individuos de una población y el balance entre estos factores permite conocer las respuestas de las especies a procesos ontogénicos y su interacción con el entorno ambiental. Finalmente, la investigación tuvo como objetivo la determinación de la mortalidad y el reclutamiento de la vegetación paramuna como efecto de un clima cambiante asociado a las temporadas climáticas de lluvia y sequía.

Metodología/enfoque

Parcelas

Para la definición del tamaño de parcela se utilizó la metodología de Área Mínima Representativa (AMR), la cual utiliza la curva de estabilización de especies por área. Para lo anterior se utilizó información de premuestreos en los que se relacionó Área de Parcela (AP) en metros cuadrados y Número de Especies de Plantas Vasculares (SP). Definida el área de la parcela se determinaron tanto el Diámetro (DP), como el Radio (RP) medidos en metros para las mismas. Los valores de área de muestreo variaron entre 1 y 500 metros cuadrados ubicados principalmente sobre coberturas de frailejonales y arbustales que corresponden a las comunidades de páramo más heterogéneas. Para los escenarios de investigación en las diferentes localidades se encontró que la diversidad florística se estabiliza en promedio sobre 9 especies de plantas cuando se establecen parcelas de muestreo de 100 metros cuadrados de área. . En cuanto al tipo de parcela la forma geométrica con menor efecto de borde corresponde a la circunferencia y además minimiza los impactos por movilidad dentro del páramo. De acuerdo con lo anterior se seleccionó unidades de muestreo de tipo circular y con 5,64 metros de radio y que para efectos operativos se aproximó a seis metros (6,0 m), lo que genera un área equivalente a 100 m² que expresaría el potencial florístico tanto para el páramo de Guacheneque como para el páramo de Guerrero y sus áreas de influencia. Las parcelas circulares se dispusieron bajo arreglos anidados de tres parcelas concéntricas de 1, 3 y 6 metros de radio respectivamente para la evaluación diferencial de las categorías de tamaño para todas las plantas del páramo. Estableciendo finalmente una red de 200 parcelas de 100 m², para el gradiente altitudinal se han definido cuatro puntos de registro (Ecotono, Parte Baja, Media y Alta) y en cada punto de registro se establecieron 10 parcelas para conformar una unidad experimental de 1000 metros cuadrados en su conjunto. La distribución de las parcelas sobre el gradiente altitudinal mantuvo la línea de pendiente y se ubicaron a una distancia de 50 metros entre sí lo que da en promedio una línea de muestreo de 500 metros lineales.

Mortalidad.

Una de las expresiones más utilizadas para evaluar la mortalidad a nivel florístico la tasa anual de mortalidad la cual se deriva del decrecimiento de la función de supervivencia y se expresa en forma homóloga al cálculo de una tasa negativa de interés compuesto, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$N_s = N_0(1 - r_m)^t$$

La tasa anual de mortalidad se expresa como:

$$r_m = \left[1 - \left(\frac{N_s}{N_0} \right)^{\frac{1}{t}} \right] \times 100$$

Donde:

r_m = Tasa anual de mortalidad expresada en porcentaje

N_0 = Número de individuos inicialmente inventariados

N_s = Número de individuos inicialmente inventariados sobrevivientes en un inventario posterior, después de un intervalo t de tiempo, $N_s = N_0 - M_u$

M_u = Número de individuos muertos durante el intervalo t de tiempo

t = Intervalo de tiempo en años, transcurrido entre los dos inventarios

Reclutamiento.

En cuanto a las tasas de reclutamiento de los árboles pueden deducirse, en términos similares que la mortalidad, a partir de la función exponencial de incremento poblacional:

$$r_r = \left[\left(\frac{N_t}{N_0} \right)^{\frac{1}{t}} - 1 \right] \times 100$$

Donde:

r_r = Tasa anual de reclutamiento expresada en porcentaje

N_t = Número de individuos inicialmente inventariados más los reclutados durante el período t de tiempo, $N_t = N_0 + I$

N_0 = Número de individuos inicialmente inventariados

I = Número de individuos reclutados durante el intervalo t de tiempo

t = Intervalo de tiempo en años, transcurrido entre los dos inventarios

Las tasas anuales de mortalidad y reclutamiento se determinaron al final de cada periodo climático (periodo lluvioso y periodo seco) a partir de inventarios sucesivos para determinar la variación poblacional como efecto de la variación climática.

Análisis estadístico

Para evaluar el efecto de la variabilidad climática sobre la dinámica de la vegetación de páramo se realizó un análisis de varianza de múltiples factores (localidad, gradiente altitudinal y periodo climático) con un nivel de confianza del 95%. Como unidad experimental se utilizó la parcela permanente circular de 100 metros cuadrados de área y como variables respuestas las tasas anuales de mortalidad ($r_m\%$) y reclutamiento ($r_r\%$). Las diferencias significativas se determinaron a partir de una prueba de rangos múltiples por el método LSD al 95% de confianza.

Resultados

Mortalidad

En la Tabla 1 se muestran los valores de las tasas anuales de mortalidad r_m en porcentaje, para las coberturas vegetales por localidad, gradiente altitudinal y periodo climático en los páramos de Guacheneque y Guerrero. El valor promedio de la mortalidad para los dos páramos durante todo el periodo de evaluación fue del 12,5%, En el periodo seco este valor supera 16% clasificando la mortalidad como catastrófica por el efecto del déficit hídrico del suelo, lo cual indica la sensibilidad de la vegetación de páramo a los periodos de sequía. En cuanto al gradiente altitudinal, la parte media que se ubica entre los 3.450 y 3.500 metros de altitud es donde se genera la mayor magnitud de muerte para la vegetación superando en promedio el 16%. La localidad correspondiente a la Reserva de las quebradas Honda y Calderitas manifiesta las coberturas de vegetación de páramo más sensible a la mortalidad al alcanzar un valor superior al 17%. En el periodo lluvioso la mortalidad supera el 8% y tiende a ser más gradual que el periodo seco.

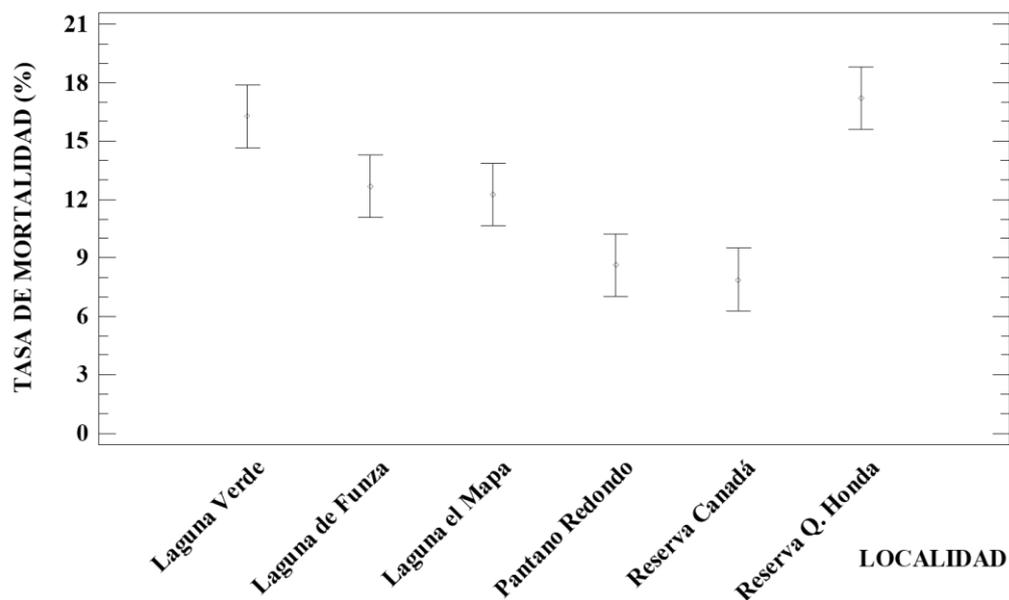
Tabla 1. Comportamiento de la tasa anual de mortalidad expresada en porcentaje por localidad, gradiente altitudinal y periodo climático, para las coberturas vegetales ubicadas en el área de influencia de los páramos de Guacheneque y Guerrero, Cundinamarca.

Nivel de variación	Casos	Media	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior

MEDIA GLOBAL	48	12,4979			
CLIMA					
Período Seco	24	16,9617	0,616607	15,6474	18,2759
Período Lluvioso	24	8,03417	0,616607	6,7199	9,34844
GRADIENTE					
Alta	12	10,4142	0,872014	8,55551	12,2728
Baja	12	11,8492	0,872014	9,99051	13,7078
Ecotono	12	10,9508	0,872014	9,09218	12,8095
Media	12	16,7775	0,872014	14,9188	18,6362
LOCALIDAD					
Laguna Verde	8	16,2762	1,06799	13,9999	18,5526
Laguna de Funza	8	12,6763	1,06799	10,3999	14,9526
Laguna El Mapa	8	12,2662	1,06799	9,98987	14,5426
Pantano Redondo	8	8,6575	1,06799	6,38112	10,9339
Reserva Canadá	8	7,885	1,06799	5,60862	10,1614
Reserva Q. Honda	8	17,2263	1,06799	14,9499	19,5026

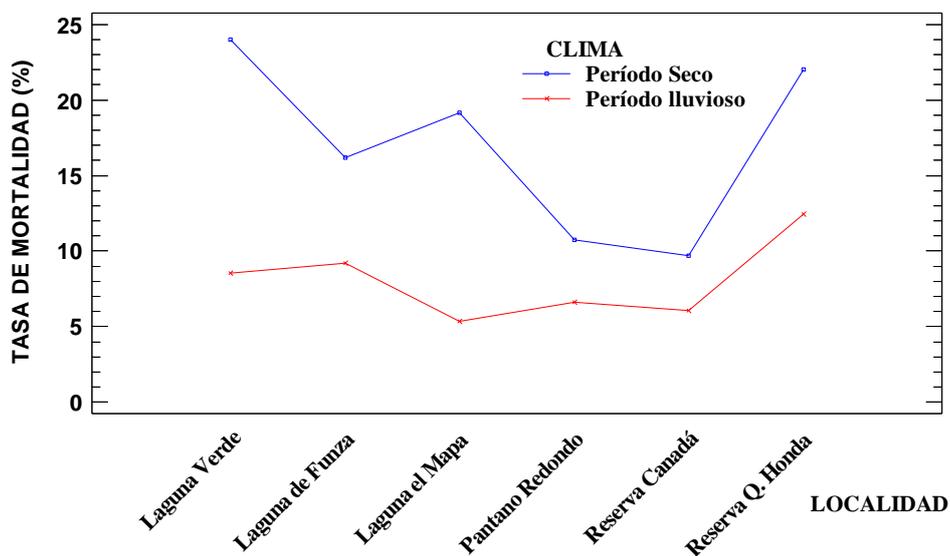
Las coberturas de vegetación de páramo ubicadas en las localidades de la Reserva Canadá y la Reserva de Pantano Redondo muestran los menores valores de mortalidad (7,8% y 8,6%) y difieren estadísticamente de las coberturas de páramo de la Laguna El Mapa y la Laguna de Funza (12,3% y 12,7%) y estas a su vez difieren estadísticamente de las coberturas vegetales de páramo de la Reserva de las quebradas Honda y la Laguna Verde (17,2% y 16,2%). Cuando se comparan los valores de la tasa anual de mortalidad entre los periodos climáticos, estos difieren estadísticamente por más del 50% (Figura 1).

Fig. 1. Comportamiento de la tasa anual de mortalidad expresada en porcentaje por localidad, para las coberturas vegetales ubicadas en el área de influencia de los páramos de Guacheneque y Guerrero, Cundinamarca.



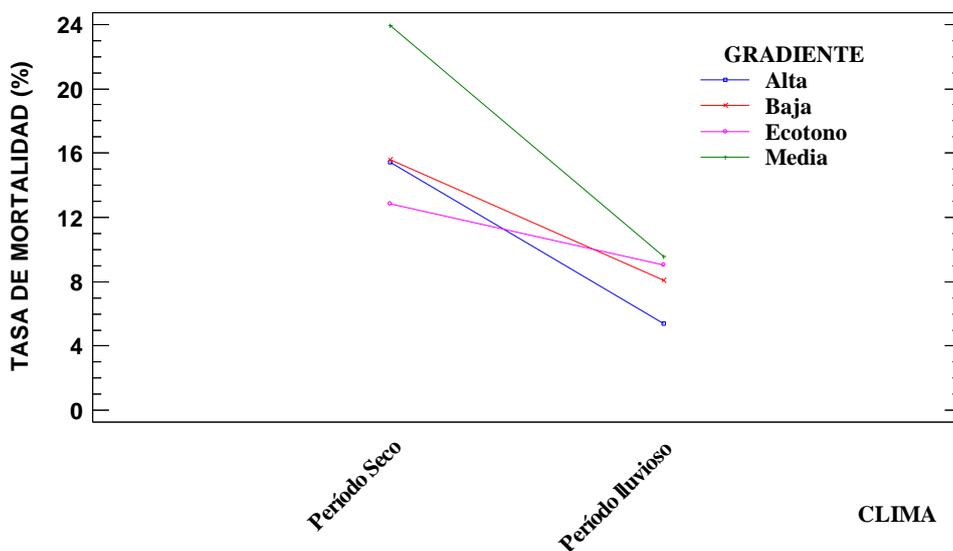
En cuanto el efecto de la variación climática a nivel de localidad, la interacción se manifiesta en forma positiva y con diferencias estadísticamente significativas, en decir, la tasa de mortalidad entre los periodos climáticos, se presentan diferencia que superar el 100% de la variable respuesta. (Figura 2).

Fig.2. Interacción de la tasa anual de mortalidad expresada en porcentaje por localidad y por periodo climático, para las coberturas vegetales ubicadas en el área de influencia de los páramos de Guacheneque y Guerrero, Cundinamarca.



La interacción de la tasa anual de mortalidad expresada en porcentaje por gradiente altitudinal y por periodo climático, para las coberturas vegetales ubicadas en el área de influencia de los páramos de Guacheneque y Guerrero (Figura 3), se aprecia que existe un incremento directo de rm(%) como efecto del periodo seco, el cual se ve reflejado en cada uno de los puntos de evaluación del gradiente. En el periodo lluvioso los valores alcanzados por las tasas de mortalidad en el gradiente altitudinal varían entre el 6 y 10%, pero en el periodo seco estos valores superan más del 100% frente a lo registro en la lluvia. La parte media del gradiente altitudinal (3.450 a 3.500 metros de altitud), es la ubicación de la vegetación de páramo más sensible a la mortalidad en el periodo de sequía.

Fig. 3. Interacción de la tasa anual de mortalidad expresada en porcentaje por gradiente altitudinal y por periodo climático, para las coberturas vegetales ubicadas en el área de influencia de los páramos de Guacheneque y Guerrero, Cundinamarca



Reclutamiento

En la Tabla 2 se muestran los valores de las tasas anuales de reclutamiento rr en porcentaje, para las coberturas vegetales por localidad, gradiente altitudinal y periodo climático en los páramos de Guacheneque y Guerrero. El valor promedio del reclutamiento para los dos páramos durante todo el periodo de evaluación fue del 17,9%. En el periodo seco este valor disminuye a 6.8% por el efecto del déficit hídrico del suelo. Superada esta condición al llegar el período lluvioso el reclutamiento alcanza sus mayores valores con 28,9%.

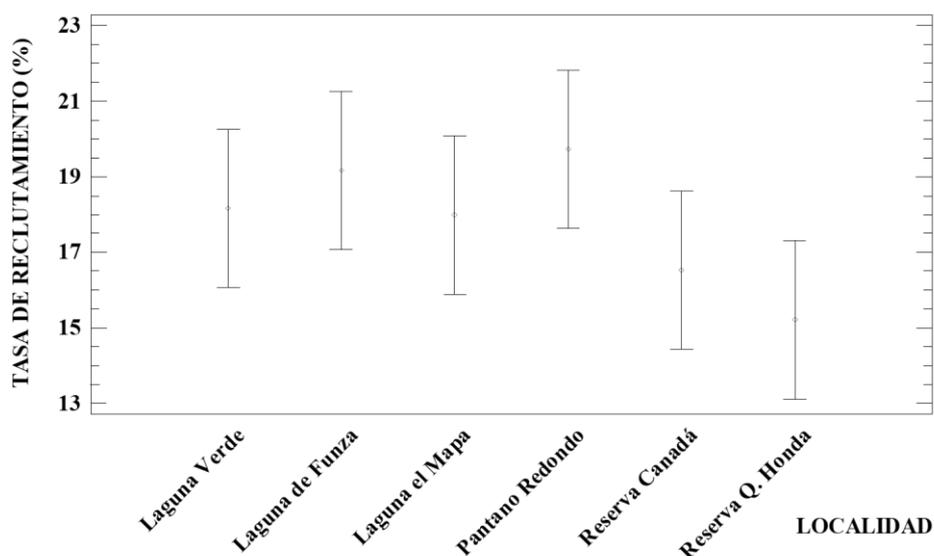
En cuanto al gradiente altitudinal, la parte media que se ubica entre los 3.450 y 3.500 metros de altitud expresa la mayor magnitud del reclutamiento con un 20,1%. Las localidades correspondientes a la Laguna de Funza, Pantano Redondo y la Laguna Verde, tienen los mayores valores de rr con 24, 19 y 18%, respectivamente. Las coberturas de vegetación de páramo ubicadas en la Laguna El Mapa muestran el menor valor de la tasa de reclutamiento con 13,5%. Cuando se comparan los valores de la tasa anual de reclutamiento entre las localidades de los páramos de Guerrero y Guacheneque, estas no difieren estadísticamente entre ellas (Figura 4), lo cual obedece al amplio rango de la variable respuesta (rr %) entre las diferentes unidades de muestreo.

Tabla 2. Comportamiento de la tasa anual de mortalidad expresada en porcentaje por localidad, gradiente altitudinal y periodo climático, para las coberturas vegetales ubicadas en el área de influencia de los páramos de Guacheneque y Guerrero, Cundinamarca.

Nivel de variación	Casos	Media	Error	Límite	
			Estándar	Inferior	Superior
MEDIA GLOBAL	48	17,8962			
CLIMA					
Período Seco	24	6,82458	1,24302	4,17514	9,47403
Período Lluvioso	24	28,9679	1,24302	26,3185	31,6174
GRADIENTE					
Alta	12	17,7975	1,7579	14,0506	21,5444
Baja	12	16,1175	1,7579	12,3706	19,8644
Ecotono	12	17,6142	1,7579	13,8673	21,3611
Media	12	20,0558	1,7579	16,3089	23,8027
LOCALIDAD					
Laguna Verde	8	18,1625	2,15298	13,5735	22,7515
Laguna de Funza	8	24,2775	2,15298	19,6885	28,8665
Laguna El Mapa	8	13,4737	2,15298	8,88477	18,0627
Pantano Redondo	8	19,73	2,15298	15,141	24,319
Reserva Canadá	8	16,525	2,15298	11,936	21,114
Reserva Q. Honda	8	15,2087	2,15298	10,6198	19,7977

En cuanto al efecto de la variación climática a nivel de localidad, la interacción se manifiesta en forma positiva y con diferencias estadísticamente significativas, en decir, que, al comparar la tasa de reclutamiento entre los periodos climáticos, se presentan amplias diferencias que pueden superar el 100% de la variable respuesta. Los valores críticos de rr , se manifiestan en la Laguna El Mapa en el período de lluvias y en la Laguna de Funza en el periodo de sequía (Figura 5).

Fig. 4. Comportamiento de la tasa anual de mortalidad expresada en porcentaje por localidad, para las coberturas vegetales ubicadas en el área de influencia de los páramos de Guacheneque y Guerrero, Cundinamarca.



En cuanto a la interacción de la tasa anual de reclutamiento expresada en porcentaje por gradiente altitudinal y por periodo climático, para las coberturas vegetales ubicadas en el área de influencia de los páramos de Guacheneque y Guerrero (Figura 6), se aprecia que existe un incremento directo de rr (%) como efecto del periodo lluvioso, el cual se ve reflejado en cada uno de los puntos de evaluación del gradiente altitudinal. En el período lluvioso los valores alcanzados por las tasas de reclutamiento varían entre el 26 y 34%, pero en el periodo seco estos valores disminuyen por debajo del 10%. La parte media del gradiente altitudinal (3.450 a 3.500 metros de altitud), es la ubicación de la vegetación de páramo más con mayor respuesta al reclutamiento como efecto del periodo lluvioso. Figura 5. Interacción de la tasa anual de mortalidad expresada en porcentaje por localidad y por periodo climático, para las coberturas vegetales ubicadas en el área de influencia de los páramos de Guacheneque y Guerrero, Cundinamarca.

Fig. 5. Interacción de la tasa anual de mortalidad expresada en porcentaje por localidad y por periodo climático, para las coberturas vegetales ubicadas en el área de influencia de los páramos de Guacheneque y Guerrero, Cundinamarca.

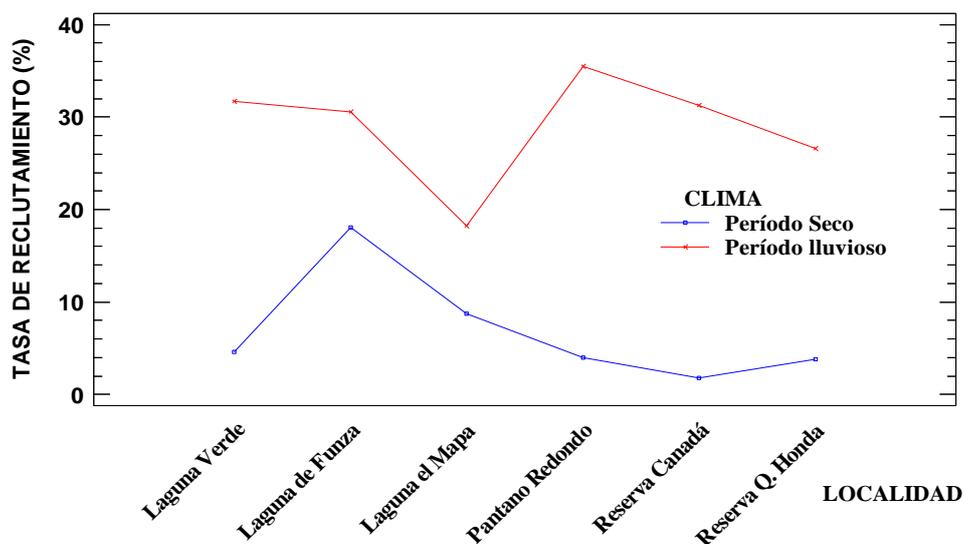
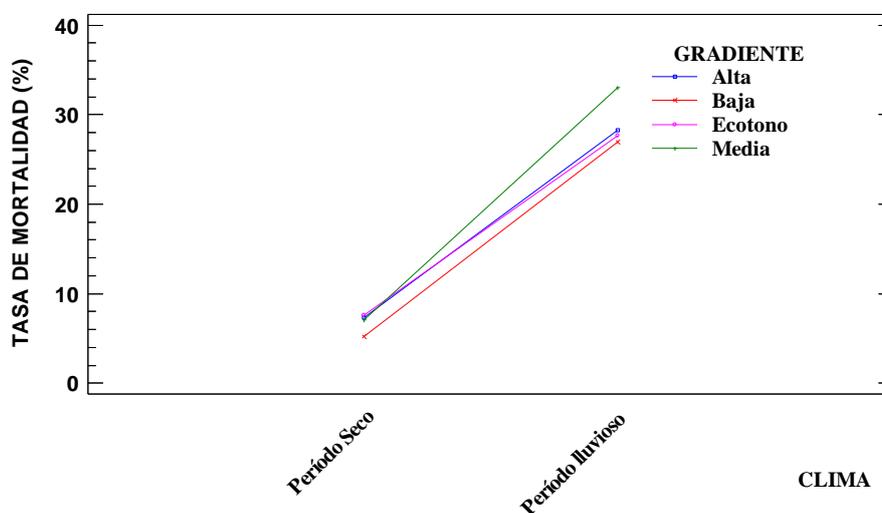


Fig. 6. Interacción de la tasa anual de reclutamiento expresada en porcentaje por gradiente altitudinal y por periodo climático, para las coberturas vegetales ubicadas en el área de influencia de los páramos de Guacheneque y Guerrero, Cundinamarca.



Discusión

Los páramos se han convertido en ecosistemas estratégicos para la prestación de bienes y servicios ecosistémicos dentro de los más importantes se destacan la regulación hídrica y la captura de carbono, servicios que contribuyen a la mitigación de las emisiones nacional y al bienestar social en general, los resultados encontrados demuestran la importancia de la conservación de las zonas de paramos con el fin de adaptar e implementar estrategias para su recuperación y restauración; los resultados asociados a la dinámica y demografía de estas comunidades vegetales están acordes con lo planteado por Hofstede et al. (2014), al evaluar el impacto del cambio climático en las especies objeto de conservación en páramos peruanos, donde igualmente se evidencian incrementos en la mortalidad en las poblaciones de plantas en los periodos de sequía.

Conclusiones

La relación del efecto de la variabilidad climática sobre la mortalidad y el reclutamiento de las coberturas vegetales mejor conservadas de los páramos de Guacheneque y Guerrero, se encontró que existe un incremento en la tasa anual de mortalidad expresada en porcentaje que alcanza magnitudes de tipo catastrófico en los periodos de sequía, igualmente el reclutamiento en este periodo no es suficiente para compensar las pérdidas a nivel de población. Por el contrario, el periodo lluvioso disminuye la mortalidad y se presenta un incremento considerable en el valor de la tasa de reclutamiento comparado con el periodo de sequía, lo que permite la estabilización demográfica de las poblaciones. El conocimiento de esta dinámica permite establecer a futuro estrategias de restauración y conservación de estos ecosistemas dada su alta importancia para la humanidad por su alta oferta de servicios ecosistémicos que se han perdido a través del tiempo con base en las condiciones ambientales en lo que se refiere principalmente el cambio climático.

Agradecimientos

A la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) por el apoyo técnico y operativo, así como a la Universidad del Tolima y el Laboratorio de Ciencias forestales perteneciente a la misma institución por el apoyo logístico y técnico en el monitoreo realizado a lo largo del horizonte del desarrollo de la investigación.

Referencias

- Hofstede, R., Calles, J., López, V., Polanco, R., Torres, F., Ulloa, J., Vásquez, A. y Cerra, M. (2014). Los Páramos Andinos ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo. UICN, Quito, Ecuador. 79 P.
- Lee, W., McGlone, M. and Wright, E. (2005). Biodiversity inventory and monitoring. A review of national and international systems and a proposed framework for future biodiversity monitoring by Department of Conservation. Landcare Research Contract Report: LC0405/122. Landcare Research New Zealand Ltda., 213 P
- Londoño, A. C. y Álvarez, E. (1997). Mortalidad y crecimiento en bosques de tierra firme y várzea, Amazonía colombiana. TROPENBOS. Bogotá. 30 P.
- Londoño, A. C. y Jiménez, E. M. (1999). Efecto del tiempo entre los censos sobre la estimación de las tasas anuales de mortalidad y de reclutamiento de árboles (períodos de 1, 4 y 5 años). En: Crónica Forestal y del Medio Ambiente. No 14. Pp. 41 – 58.
- Llambi, D., Becerra, M., Peralvo, M., Avella, A., Baruffol, M. Diaz, L. (2019). Construcción de una Estrategia para el Monitoreo Integrado de los Ecosistemas de Alta Montaña en Colombia. Biodiversidad en la práctica. Documento de trabajo. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt Volumen 4, (1). pp. 150-172.
- Medellín, S. (2016). Protocolo para el monitoreo de turberas en páramos de Colombia. Universidad Javeriana. Bogotá. 43 P
- Melo, O., & Vargas, R. (2002). EVALUACION ECOLOGICA Y SILVICULTURAL DE ECOSISTEMAS BOSCOSOS. Ibagué: Universidad Del Tolima.