

<https://doi.org/10.15517/cxjv2322>

Respuesta de la vegetación de páramo al disturbio antrópico en un gradiente altitudinal en Quindío, Colombia

Larri Álvarez Rodas^{1*};  <https://orcid.org/0000-0003-0700-7371>

Kennedy Anibal Bernal Florez²;  <https://orcid.org/0009-0001-5765-4916>

Carlos Alberto Agudelo Henao¹;  <https://orcid.org/0000-0002-1446-1639>

Marly Grajales Amoroch¹;  <https://orcid.org/0000-0002-7066-8861>

1. Grupo de investigación en Biodiversidad y Biotecnología Universidad del Quindío (GIBUQ), Doctorado en Ciencias – Biología, Universidad del Quindío - Carrera 15 #12N, Armenia - Quindío, Colombia; lavarez@uniquindio.edu.co (*Correspondence), cagudelo@uniquindio.edu.co, mgrajales@uniquindio.edu.co
2. Grupo de investigación en Biodiversidad y Biotecnología Universidad del Quindío (GIBUQ), Maestría en Ciencias, Universidad de Caldas - Cl. 65 #26-10, Manizales, Caldas, Colombia; kennedy.bernal@uniquindio.edu.co

Recibido 07-VII-2025. Corregido 30-I-2026. Aceptado 18-III-2026.

ABSTRACT

Response of paramo vegetation to anthropogenic disturbance along an altitudinal gradient in Quindío, Colombia

Introduction: The paramos of Quindío, Colombia, harbor high but still incompletely documented plant diversity. These high-mountain ecosystems are sensitive to anthropogenic pressures, which can alter community composition, dominance patterns, and vegetation structure.

Objective: To compare floristic diversity and vegetation structure between conserved and intervened paramo/subparamo localities in Quindío, providing baseline information for conservation and management.

Methods: We sampled six localities spanning an altitudinal belt of approximately 3 200-3 900 m. In each locality, five 50 m line transects were established (30 transects total). Species occurrence was recorded, and relative cover was estimated using the line intercept approach (intercept length). Alpha diversity was assessed with Hill numbers (q_0 , q_1 , q_2), and beta diversity was evaluated using similarity measures based on relative values. Vegetation structure was summarized with an Importance Value Index (IVI).

Results: We recorded 519 species: 285 vascular plants (182 genera, 80 families) and 234 non-vascular plants (115 genera, 63 families), including 160 liverworts (Marchantiophyta), 71 mosses (Bryophyta), and three hornworts (Anthocerotophyta). Species richness (q_0) was higher in conserved localities and markedly lower in intervened localities. Diversity patterns indicated increased dominance in the most disturbed locality, consistent with cover concentration in a reduced set of taxa. Floristic similarity was generally low ($\leq 45\%$), with greater affinity among conserved localities and higher dispersion among intervened ones. The highest IVI values in intervened localities were associated with taxa such as *Miconia polyneura*, *Hesperomeles obtusifolia* var. *obtusifolia*, *Gaultheria myrsinoides*, *Puya trianae*, and *Gaiadendron punctatum*, whereas conserved localities were characterized by structurally prominent species.

Conclusion: Conserved paramo localities maintain higher floristic diversity and a vegetation structure dominated by characteristic taxa, whereas intervened sites show reduced richness, stronger dominance, and pronounced compositional turnover. These patterns highlight the need to strengthen conservation actions, regulate local pressures, and prioritize connectivity and restoration in the paramos of Quindío.



Key words: Andean paramo; floristic diversity; Hill numbers; beta diversity; line-intercept; Importance Value Index; anthropogenic disturbance; Colombian Andes.

RESUMEN

Introducción: Los páramos de Quindío, Colombia, albergan una alta diversidad vegetal aún incompletamente documentada y son sensibles a presiones humanas, las cuales pueden modificar la composición de las comunidades, los patrones de dominancia y la estructura de la vegetación.

Objetivo: Comparar la diversidad florística y la estructura de la vegetación entre localidades de páramo/subpáramo conservadas e intervenidas en Quindío, aportando información de línea base para la conservación y el manejo.

Métodos: Se muestrearon seis localidades en una franja altitudinal de aproximadamente 3 200-3 900 m; en cada localidad se establecieron cinco transectos lineales de 50 m (30 transectos en total), se registró la ocurrencia de especies y se estimó la cobertura relativa mediante el método de intersección lineal (longitud de intercepto); la diversidad alfa se evaluó con números de Hill (q_0 , q_1 , q_2), la diversidad beta con medidas de similitud basadas en valores relativos y la estructura de la vegetación se resumió con un Índice de Valor de Importancia (IVI).

Resultados: Se registraron 519 especies: 285 plantas vasculares (182 géneros, 80 familias) y 234 plantas no vasculares (115 géneros, 63 familias), incluidas 160 hepáticas (Marchantiophyta), 71 musgos (Bryophyta) y tres antochozales (Anthocerotophyta); la riqueza (q_0) fue mayor en las localidades conservadas y marcadamente menor en las intervenidas; los patrones de diversidad indicaron mayor dominancia en la localidad más perturbada, consistente con la concentración de cobertura en pocos taxones; la similitud florística fue generalmente baja ($\leq 45\%$), con mayor afinidad entre las localidades conservadas y mayor dispersión entre las intervenidas; los mayores valores de IVI en sitios intervenidos se asociaron con *Miconia polyneura*, *Hesperomeles obtusifolia* var. *obtusifolia*, *Gaultheria myrsinoides*, *Puya trianae* y *Gaiadendron punctatum*, mientras que las localidades conservadas se caracterizaron por especies estructuralmente prominentes.

Conclusión: Las localidades de páramo conservadas mantienen mayor diversidad florística y una estructura dominada por taxones característicos, mientras que los sitios intervenidos presentan menor riqueza, mayor dominancia y un recambio composicional pronunciado, lo que subraya la necesidad de fortalecer acciones de conservación, la conectividad y la restauración en los páramos de Quindío.

Palabras clave: páramo andino; diversidad florística; números de Hill; diversidad beta; línea de intercepción; Índice de Valor de Importancia; disturbio antrópico; Andes colombianos.

INTRODUCCIÓN

Los páramos andinos son ecosistemas de alta montaña que se desarrollan por encima del límite del bosque altoandino y por debajo de las nieves perpetuas, conformando un cinturón altitudinal frío y húmedo donde predominan suelos orgánicos, alta humedad y fuertes oscilaciones térmicas diarias (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2010; Rangel-Ch., 2015). La vegetación está dominada por pajonales, frailejonales, matorrales bajos y humedales, con abundancia de formas de vida como rosetas, arbustos enanos y gramíneas de porte robusto, adaptadas a condiciones de radiación intensa, heladas frecuentes y vientos fuertes (Londoño et al., 2014; Morales et al. 2011). Esta combinación de factores ambientales y

aislamiento geográfico ha favorecido una flora altamente especializada, con elevados niveles de endemismo y un marcado recambio florístico entre complejos paramunos (Madriñán et al., 2013; Rangel-Ch. & Arellano-P., 2010; Sklenář & Ramsay, 2001; Smith & Cleef, 1988). Históricamente, estos ecosistemas han sido relativamente inaccesibles, lo que permitió la conservación de núcleos de vegetación de alta montaña. Sin embargo, en las últimas décadas, la intensificación de actividades humanas como el turismo no regulado, la ganadería extensiva y la ampliación de la frontera agrícola han generado una profunda transformación del paisaje (Benavides et al., 2016; Rodríguez Eraso et al., 2013). Estas presiones han modificado la estructura vegetal, promoviendo la dominancia de especies generalistas y comprometiendo

procesos ecológicos esenciales como la regeneración natural y la conectividad funcional entre remanentes (Hofstede et al., 2014).

Dentro de este gradiente altitudinal se distinguen varias franjas de vegetación. El subpáramo corresponde a la zona de transición entre el bosque altoandino y el páramo abierto, donde predominan matorrales densos, bosques bajos y arbustos que aún conservan elementos florísticos del bosque, pero ya incorporan especies típicas del páramo (Rangel-Ch. & Velásquez, 1997; Rangel-Ch., 2015). Por encima se desarrolla el páramo propiamente dicho, dominado por pajonales, frailejonales y matorrales bajos, y hacia las cotas más elevadas el superpáramo, con vegetación rala sobre sustratos pedregosos (IGAC, 2010; Londoño et al., 2014; Smith & Cleef, 1988). Esta secuencia bosque-subpáramo-páramo concentra cambios abruptos en composición y estructura de la vegetación, y ha sido reconocida como un eje fundamental para entender los patrones de diversidad y la respuesta de las comunidades a los disturbios naturales y antrópicos (Rangel-Ch. & Arellano-P., 2010; Zambrano & Cleef, 2022).

La importancia de estos ecosistemas trasciende su singularidad biológica. Los páramos son reconocidos como reguladores críticos del ciclo hidrológico andino, al actuar como esponjas que capturan, almacenan y liberan agua de manera gradual hacia las cuencas que abastecen a poblaciones rurales y urbanas (Mora et al., 2020). En Colombia, que alberga cerca del 50 % de los páramos del planeta, estos sistemas soportan el suministro de agua para millones de personas y mantienen procesos ecológicos clave como la captura de carbono, la conservación de suelos y la provisión de hábitat para numerosas especies amenazadas (Ruíz Murcia et al., 2015; Rangel-Ch., 2015; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2024). No obstante, su alta sensibilidad a las alteraciones del uso del suelo y al cambio climático los convierte en uno de los ecosistemas más vulnerables de la región andina (López-Camacho & Rangel-Ch., 2021; Rodríguez Eraso et al., 2013).

En las últimas décadas, diversos estudios han documentado cambios significativos en la

composición, estructura y diversidad de la vegetación de páramo asociados a procesos de fragmentación, cambio de uso del suelo y expansión de la frontera agropecuaria y ganadera (Morales et al., 2011; López-Camacho & Rangel-Ch., 2021; Zambrano & Cleef, 2022). Estos trabajos evidencian que las actividades humanas tienden a simplificar la estructura vegetal, favoreciendo especies generalistas y reduciendo la representación de especies estructurales clave, con implicaciones directas sobre la regulación hídrica y la conectividad funcional del paisaje (Rodríguez Eraso et al., 2013; Rodríguez et al., 2020). Sin embargo, la magnitud y las formas de estas transformaciones no son homogéneas entre complejos paramunos, por lo que resulta necesario contar con estudios locales que integren gradientes altitudinales y de intervención para comprender mejor la respuesta de la vegetación en distintos contextos socioecológicos (Benavides et al., 2016; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2024).

En el departamento del Quindío, los complejos de subpáramo y páramo de la vertiente occidental de la cordillera Central constituyen la cabecera de importantes cuencas hidrográficas y mantienen relictos de vegetación nativa inmersos en un paisaje fuertemente fragmentado (IGAC, 2010; Rangel-Ch., 2015). A pesar de su relevancia ecológica y socioambiental, la información disponible sobre la flora y la estructura de la vegetación en estos sistemas sigue siendo limitada y se concentra en listados parciales o descripciones fisionómicas puntuales, sin evaluar de manera explícita la variación entre localidades con diferentes grados de conservación y disturbio (Rangel-Ch. & Arellano-P., 2010; López-Camacho & Rangel-Ch., 2021). En particular, persiste un vacío de conocimiento en torno a cómo cambian simultáneamente la riqueza, la composición florística, las formas de vida dominantes y los atributos estructurales de la vegetación a lo largo de los mosaicos de subpáramo y páramo del Quindío, en función de gradientes locales de intervención antrópica.

Desde esta perspectiva, el problema de investigación que aborda este trabajo se centra en comprender de qué manera el disturbio

antrópico derivado de actividades como el turismo no regulado, la ganadería extensiva, la apertura de vías y el uso agropecuario está modificando la composición, la diversidad y la estructura de la vegetación de subpáramo y páramo en el departamento del Quindío. En ausencia de evaluaciones comparativas entre zonas conservadas e intervenidas, resulta difícil detectar patrones de pérdida de especies, cambios en la dominancia de formas de vida y sustitución de especies estructurales por especies tolerantes al disturbio, lo que limita la formulación de estrategias de conservación y rehabilitación ecológica ajustadas a la realidad local (Rodríguez Eraso et al., 2013; Benavides et al., 2016; Rodríguez et al., 2020; Flantua et al., 2021).

Con base en la evidencia disponible sobre los efectos del cambio de uso del suelo y la fragmentación en ecosistemas altoandinos, se planteó la hipótesis de que el incremento del disturbio antrópico en mosaicos de subpáramo y páramo del Quindío se asocia con cambios detectables en la diversidad, la composición y la estructura de la vegetación. En particular, se predijo que las localidades intervenidas presentarían: una reducción de la diversidad efectiva (especialmente para números de Hill q_1 y q_2 , asociadas a equidad y dominancia), una menor similitud florística respecto a las localidades conservadas y mayor recambio en diversidad beta, y una estructura más simplificada, expresada en la dominancia de un subconjunto reducido de especies y formas de vida, reflejada en mayores valores relativos de cobertura e Índice de Valor de Importancia (IVI), en comparación con los sitios conservados. El objetivo de este estudio fue analizar la respuesta de la vegetación de subpáramo y páramo al disturbio antrópico a lo largo de un gradiente altitudinal en el departamento del Quindío.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: El presente estudio se desarrolló en los páramos del departamento del Quindío, ubicados en la vertiente occidental de la cordillera Central de los Andes colombianos

(Fig. 1). Las áreas muestreadas se encuentran distribuidas en los municipios y las coordenadas: Génova (04°05'29.3" N & 75°48'09.6" W), Córdoba (04°22'07.7" N & 75°35'20.7" W), Salento (04°37'01.08" N & 75°25'06.7" W), Calarcá (04°25'58.3" N & 75°34'44.7" W) y Pijao (04°15'40.32" N & 75°38'20.36" W). Estos páramos se estructuran en un mosaico de unidades de vegetación asociadas a variaciones topográficas (cumbres, laderas, valles glaciares) dentro del rango altitudinal 3 200 y 3 900 m s.n.m. (Rangel-Ch., 2015).

El paisaje se caracteriza por laderas empinadas, valles glaciares y relictos de vegetación nativa, enmarcados dentro del corredor ecológico andino del Parque Nacional Natural Los Nevados, Complejo Chili Barragán y diversas reservas privadas. La zona presenta un régimen bimodal de lluvias, con una precipitación anual de 1 800 a 2 400 mm, y temperaturas medias que oscilan entre 6 y 14 °C (IDEAM, 2021).

La cobertura vegetal incluye mosaicos de vegetación natural de páramo, bosque altoandino fragmentado, pajonales, frailejonales y matorrales, intercalados con áreas en diferentes grados de intervención por ganadería, cultivos y turismo de montaña (Rodríguez Eraso et al., 2013; Benavides et al., 2016). Se seleccionaron seis localidades representativas: tres con características conservadas (Romerales-Salento, La Garita-Calarcá y Mellizas-Pijao) y tres con signos de intervención antrópica (Camino Nacional-Salento, La Línea-Pijao y Campanario-Calarcá), lo que permitió contrastar gradientes de disturbio y su efecto sobre la diversidad florística. Para evitar ambigüedades en la denominación de los sitios, cada localidad se identificó mediante un código alfanumérico usado de manera consistente en todo el manuscrito y en las figuras. La primera letra indica el nivel de intervención (I: Intervenida, C: Conservada) y la segunda letra el municipio (C: Calarcá, P: Pijao, S: Salento). En consecuencia, las localidades evaluadas fueron: CI: Campanario (intervenida, Calarcá), PI: La Línea (intervenida, Pijao), SI: Camino Nacional (intervenida, Salento), CC: La Garita (conservada, Calarcá),

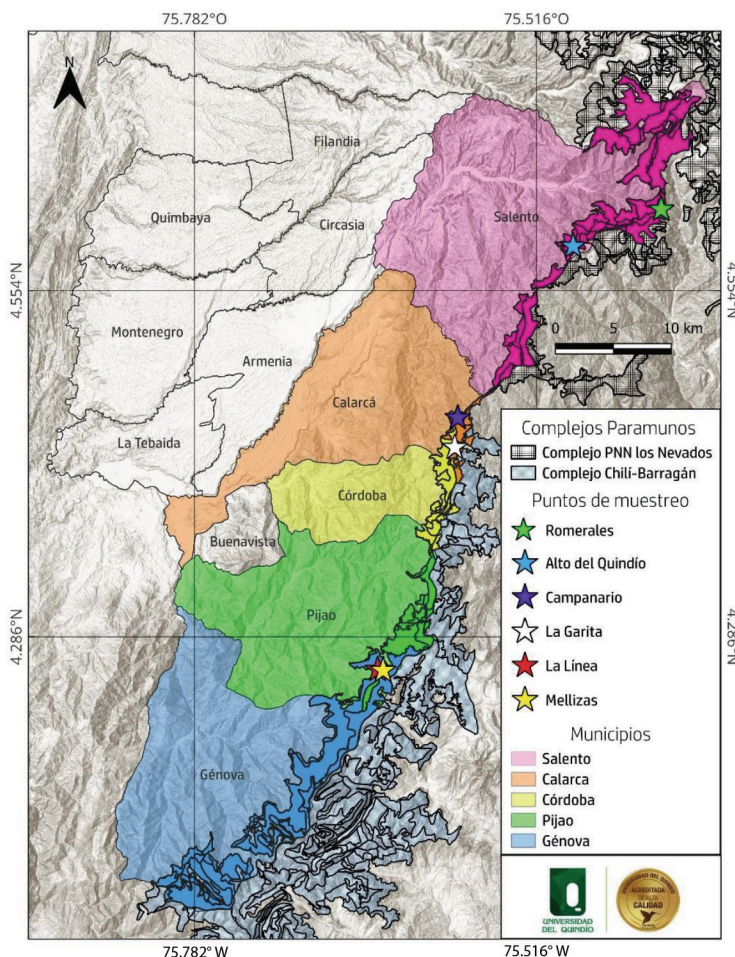


Fig. 1. Mapa de los páramos presentes en el departamento del Quindío (Colombia), con la ubicación de las localidades conservadas y localidades con algún grado de intervención. / **Fig. 1.** Map of the moorlands present in the department of Quindío (Colombia), showing the location of preserved localities and localities with some degree of intervention.

PC: Mellizas (conservada, Pijao) y SC: Romerales (conservada, Salento).

Dado que la composición de la vegetación paramuna varía de forma natural a lo largo del gradiente altitudinal, este estudio se concibe como una evaluación comparativa de localidades conservadas e intervenidas dentro de un mismo cinturón altoandino regional, y no como un diseño de sitios emparejados estrictamente por altitud. En consecuencia, la altitud se interpreta como parte del contexto ambiental del gradiente, mientras que el contraste principal se plantea a nivel categórico (conservado vs.

intervenido), con cautela en la atribución causal exclusiva al disturbio.

La clasificación de cada localidad como “conservada” o “con algún grado de intervención antrópica” se basó en observaciones de campo y en información cualitativa obtenida de habitantes y actores locales (guardaparques, guías y propietarios), considerando la presencia de actividades como tránsito de ganado, apertura de vías, uso turístico intenso y prácticas agropecuarias. En todos los casos, la perturbación en las localidades intervenidas corresponde a un uso del suelo de carácter crónico,



mantenido durante varios años, lo que se refleja en la presencia de senderos marcados, suelos compactados, claros abiertos y parches de vegetación secundaria. No se contaba con un registro histórico preciso y homogéneo del inicio del disturbio ni de su intensidad en cada localidad, por lo que no asumimos que la perturbación sea exactamente igual en tiempo y magnitud entre los sitios intervenidos. En consecuencia, el disturbio se trató como una variable categórica (conservado vs. intervenido), empleando los sitios conservados como referencia de vegetación relativamente intacta dentro del gradiente altitudinal regional.

Muestreo: Se instalaron transeptos de 50 m lineales, los datos se tomaron siguiendo la metodología de línea intercepta propuesta por Canfield (1941), adaptada para evaluar la cobertura y estructura de la vegetación terrestre vascular. Las líneas fueron distribuidas aleatoriamente en tres localidades con características de conservación e intervención, cubriendo un gradiente altitudinal entre 3 200 y 3 800 m.

En cada unidad de muestreo se registraron todas las especies visibles a nivel de cobertura herbácea, arbustivo, arbóreo y de rosetas. Para cada especie se anotó la abundancia relativa, frecuencia relativa y cobertura relativa proyectada sobre la cinta métrica. Asimismo, se documentó la forma de crecimiento de acuerdo con (Font Quer, 2001) árbol, arbusto, hierba, holopífita, hemiepífita, semiepífita, helecho, roseta, roseta acaule y roseta caulescente. Para la caracterización de la estructura vertical (hábitos de crecimiento) se consideraron únicamente las plantas vasculares. Los briófitos y otros grupos fueron registrados para los análisis de composición y riqueza cuando correspondió, pero se excluyeron del análisis de hábitos, dado que su forma de vida y su medición estructural no son comparables con los criterios aplicados a vasculares. Debido a que en comunidades de subpáramo y páramo varias especies presentan crecimiento clonal o modular (macollas, cojines, rosetas y gramíneas cespitosas), el conteo de individuos no es una medida robusta ni reproducible de abundancia.

Por ello, la cuantificación de la dominancia relativa se basó en cobertura relativa, estimada como la proporción de longitud interceptada por especie a lo largo de los transectos. En consecuencia, cuando se emplearon métricas que requieren ponderación por abundancia, se utilizaron valores relativos derivados de cobertura (longitud interceptada) como proxy de dominancia espacial, mientras que los resultados se interpretan en términos de cobertura / dominancia y no como número de individuos.

Trabajo de laboratorio: El material botánico recolectado en campo fue procesado, prensado y secado siguiendo protocolos estandarizados. La determinación taxonómica de las muestras se realizó en el Herbario Universidad del Quindío (HUQ), utilizando literatura especializada como Gentry (1993), Flora de Colombia, Flora Neotropica, Flora de Costa Rica, Flora de Panamá, entre otras fuentes taxonómicas regionales y continentales. Asimismo, se consultaron bases de datos en línea especializadas como Tropicos® (www.tropicos.org), Botanicus® (www.botanicus.org) y JSTOR Global Plants (www.jstor.org), WOF the Plant list (2026), lo cual permitió contrastar sinónimos verificar nomenclatura válida y comparar imágenes de ejemplares tipo. La identificación de ejemplares críticos fue corroborada mediante consulta con especialistas en grupos taxonómicos específicos y mediante comparación directa con material de referencia depositado en los herbarios HUQ y Herbario Nacional Colombiano (COL). Los ejemplares botánicos determinados fueron rotulados y depositados en la colección del Herbario HUQ, bajo numeración y curaduría correspondiente al proyecto.

Análisis de la diversidad: La muestra estuvo constituida por el conjunto de transectos lineales establecidos en cada localidad. La unidad muestral correspondió a cada transecto lineal de 50 m y se establecieron 5 transectos por localidad. En total se evaluaron 30 transectos distribuidos en 6 localidades. Para las comparaciones entre localidades, la unidad de análisis fue la localidad, agregando los registros

de sus cinco transectos. A partir de ello se construyó una matriz de comunidad (especies $\times$ localidades) utilizando como ponderación la cobertura relativa estimada como proporción de longitud interceptada (y, cuando fue necesario, presencia/ausencia). Asimismo, se generaron curvas de completitud con sus respectivos intervalos de confianza del 95 %, calculados a partir de 100 pseudoréplicas obtenidas mediante el método de remuestreo Bootstrap (Chao & Jost, 2012; Chao et al., 2014). Las curvas de rarefacción, extrapolación y completitud fueron generadas empleando el paquete iNEXT (Hsieh & Chao, 2016) en el entorno de programación R (R Core Team, 2024), siguiendo las recomendaciones metodológicas establecidas por Chao et al. (2014) y Colwell et al. (2012).

Para estimar la diversidad alfa se utilizaron índices basados en los números de Hill, los cuales expresan la diversidad alfa en términos del número efectivo de especies (Jost, 2006). Estos cálculos fueron realizados mediante el paquete iNEXT del software R (Chao & Jost, 2012; Chao et al., 2014). Los números efectivos de especies se dividen en tres niveles: diversidad de orden cero (0D), correspondiente a la riqueza de especies; diversidad de orden uno (1D), que considera la abundancia relativa; y diversidad de orden dos (2D), que enfatiza las especies más dominantes o abundantes (Jost, 2006; Chao et al., 2014). Con el objetivo de evaluar la similitud en la composición de especies entre distintos hábitats, se empleó el índice de Chao-Jaccard (Chao et al., 2005; Chao et al., 2006), el cual fue calculado mediante el software Estima-tes versión 9.0 (Colwell, 2013) y representado gráficamente a través de un dendrograma. Este índice constituye una modificación del índice de similitud de Jaccard tradicionalmente utilizado en ecología de comunidades, incorporando una corrección para minimizar los sesgos asociados al tamaño muestral y a la subrepresentación de especies raras (Chao et al., 2005; Chao et al., 2014).

Estructura vertical - Hábitos de crecimiento: El análisis de la estructura vertical se realizó exclusivamente con las especies de

plantas vasculares registradas dentro de las unidades de muestreo en las seis localidades, lo que permitió una interpretación consistente de la estratificación de la vegetación paramuna a partir de la información recopilada en campo. En total se consideraron 285 especies vasculares. La clasificación de los hábitos de crecimiento se basó en las categorías propuestas por Rangel y Velásquez (1997) y Font Quer (2001): árbol, arbusto, hierba, bejuco, holopífita, hemiepífita, semiepífita, helecho, parásita, roseta, roseta acaule y roseta caulescente. Esta aproximación permitió caracterizar la distribución de formas de vida presentes en las parcelas, reconociendo que ciertos hábitos, como las epífitas o las rosetas acaules, pueden ser menos detectables en muestras puntuales.

Estructura horizontal: Para describir la cobertura, dominancia y frecuencia de las especies en las unidades de muestreo, se calculó el IVI para cada especie en cada localidad. El IVI se obtuvo como la suma de la abundancia relativa (expresada como longitud interceptada relativa), la frecuencia relativa y la cobertura relativa, siguiendo la formulación clásica propuesta por Curtis & McIntosh (1951) y su adaptación a comunidades de alta montaña realizada por Rangel & Velásquez (1997). Esta aproximación permitió identificar las especies con mayor peso estructural en la vegetación del subpáramo y páramo del área de estudio.

RESULTADOS

Diversidad: Los índices de Hill indican que para q_0 , la riqueza observada fue mayor en las localidades de La Garita 69, Mellizas 63 y Romerales con 58 especies respectivamente, las cuales corresponden a zonas conservadas. En contraste, los valores más bajos se encontraron en las zonas intervenidas, especialmente en Camino Nacional 20 y La Línea con 24. Para el caso de q_1 , que indican las especies efectivas (abundancias relativas), se obtuvo que La Garita y Mellizas fueron las zonas que presentaron mayor número, seguidas de Romerales y Campanario. Para q_2 , se tuvo que las localidades

que presentaron mayor número de especies con tendencias dominantes fueron Calarcá Conservado y Pijao Conservado (Fig. 2).

Para la cobertura del muestreo, se encontró que las localidades Calarcá Conservado, Salento Conservado, Pijao Intervenido, Pijao Conservado y Salento Intervenido, tuvieron una óptima completitud ya que sus valores se acercaban a uno, lo que indica poca probabilidad de registrar más especies en estas zonas; por otro lado, Calarcá Intervenido, presentó una completitud baja, indicando que la probabilidad de encontrar más especies es aún factible (Fig. 3).

Para el caso específico de la similitud se evidencia un alto recambio florístico entre las seis localidades evaluadas en los páramos Quindianos, siendo La Garita CC y Romerales SC los que mayor similitud presentan, pero en general los estructurales vegetales presentan una diferenciación, lo que podría estar reflejando condiciones ecológicas particulares como grados variables de intervención antrópica (Fig. 4).

Romerales SC y La Garita CC conforman el grupo más cercano en términos de similitud florística, ambas son zonas conservadas, con mayor riqueza específica y dominancia compartida de especies estructurales como *Espeletia hartwegiana*, *Disterigma acuminatum* y *Chusquea tessellata*. Esta asociación sugiere que las condiciones ambientales y la baja perturbación favorecen una composición vegetal similar. Aunque Mellizas PC, también es una localidad conservada, presenta una afinidad intermedia con las anteriores, sugiriendo presencia de especies comunes, aunque con ciertas particularidades locales en el tipo fisionómico predominante como lo podría representar un pajonal transicional de esas características.

La Línea PI y Campanario CI separados, y con menor similitud interna, ambas localidades presentan intervención antrópica, si bien Campanario ha retenido mayor diversidad florística. La baja similitud con otras localidades puede estar relacionada con perturbaciones por vías

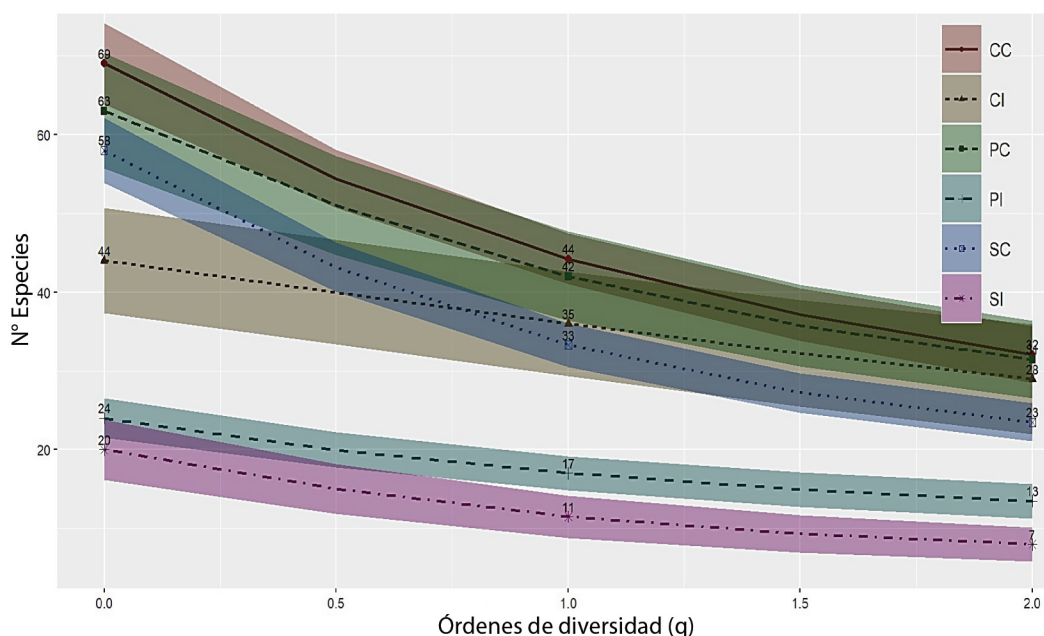


Fig. 2. Valores de diversidad de especies basado en los índices de Hill (q_0 , q_1 y q_2) para seis localidades de páramo en el departamento del Quindío, Colombia. Paramos conservados (CC, PC, SC) y tres intervenidos (CI, SI, PI). / **Fig. 2.** Species diversity values based on Hill indices (q_0 , q_1 and q_2) for six páramo locations in the department of Quindío, Colombia. Conserved páramos (CC, PC, SC) and three intervened ones (CI, SI, PI).

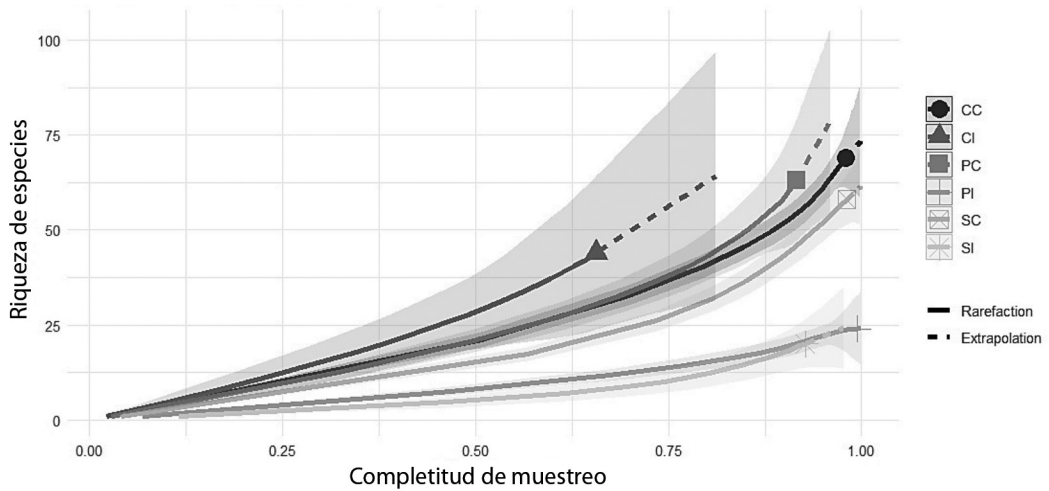


Fig. 3. Curva de rarefacción / Extrapolación. Diversidad de orden $q = 0$ (Riqueza de especies). Páramos conservados (CC, PC, SC) y páramos intervenidos (CI, SI, PI). / **Fig. 3.** Rarefaction curve / Extrapolation. Diversity of order $q = 0$ (Species richness). Conserved moorlands (CC, PC, SC) and intervened moorlands (CI, SI, PI).

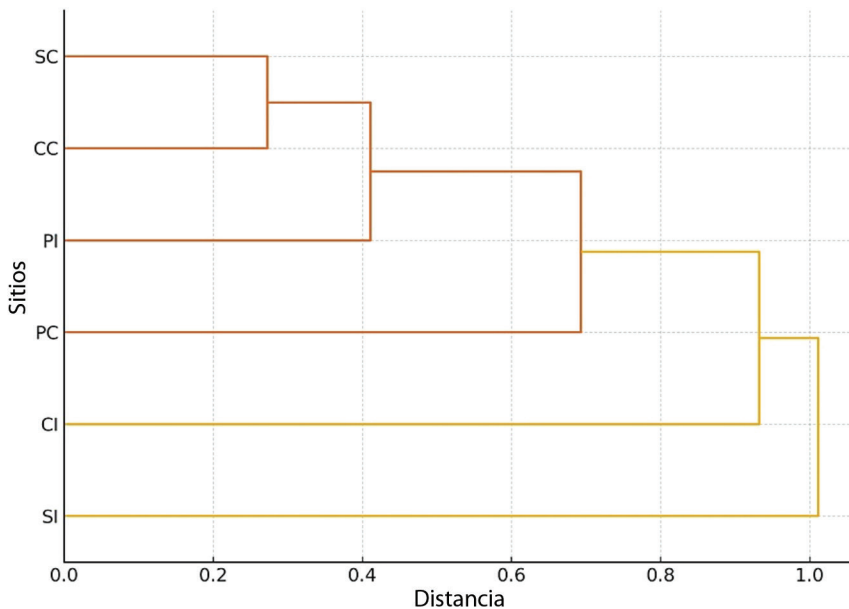


Fig. 4. Dendrograma de similitud florística entre seis localidades de páramo en el departamento del Quindío, Colombia. Se utilizó el coeficiente de similitud de Jaccard y el método de agrupamiento UPGMA. Se compara la composición florística de tres páramos conservados (CC, PC, SC) y tres intervenidos (CI, SI, PI). / **Fig. 4.** Dendrogram of floristic similarity among six paramo locations in the department of Quindío, Colombia. The Jaccard similarity coefficient and the UPGMA clustering method were used. The floristic composition of three conserved páramos (CC, PC, SC) and three disturbed páramos (CI, SI, PI) is compared.

de acceso, agricultura o ganadería, que favorecen especies generalistas y alteran la estructura florística típica del páramo. Por otra parte, Camino Nacional SI aparece aislada, sin conexión clara con las otras agrupaciones, lo que denota una composición florística muy diferenciada, esta zona está altamente intervenida, con valores bajos de riqueza, alta dominancia y menor equidad, lo cual reduce la representación de especies clave del páramo y refleja un ecosistema fuertemente alterado.

Estructura vertical – Hábitos de crecimiento: Se registraron 1 617 individuos representadas en 285 especies, las formas de vida más representativas fueron los arbustos, con 236 especies (45.5 %), seguidos por las hierbas con 119 especies (22.9 %) y las epífitas con 89 especies (17.1 %). Estos tres hábitos representaron más del 85 % del total de la riqueza florística documentada. Las rosetas (7 especies, 1.3 %), helechos (20 especies, 3.9 %) y los árboles se registraron con 21 especies (4.1 %), de igual forma se reportaron especies parásitas (7 especies, 1.3 %), hemiepífitas (3 especies, 0.6 %) y rasantes (5 especies. 1.0 %), hábitos menos

frecuentes pero relevantes en términos ecológicos por su rol en la dinámica de competencia y reciclaje de nutrientes.

En las localidades intervenidas, el IVI se concentró en un conjunto reducido de especies, lo que evidencia una estructura horizontal simplificada y mayor dominancia relativa. En Camino Nacional CI, las especies con mayor IVI fueron *Miconia polyneura* (56.11 %), *Hesperomeles obtusifolia* var. *obtusifolia* (51.34 %) y *Freziera reticulata* (40.35 %); mientras que en La Línea PI destacaron *Gaultheria myrsinoides* (37.99 %), *Puya trianae* (27.12 %) y *Gaiadendron punctatum* (22.64 %). En contraste, en las localidades conservadas se mantuvo el predominio de especies estructurales típicas del páramo; en La Garita CC sobresalieron *D. acuminatum* (27.79 %), *C. tessellata* (22.81 %) y *E. hartwegiana* (17.49 %), y en Romerales (SC) se repitió un patrón similar con *D. acuminatum* (21.71 %), *E. hartwegiana* (19.26 %) y *Blechnum loxense* (16.83 %). El detalle de las cinco especies con mayor IVI por localidad y sus componentes (CobR, AbunR y FrecR) se presenta en la (Tabla 1).

Tabla 1
Índice de Valor de Importancia (IVI) relativo (%) de las especies con mayor peso estructural por localidad en Quindío, Colombia. / **Table 1.** Importance Value Index (IVI) relative % values for the five most important species in six páramo locations in Quindío, Colombia.

Camino Nacional				
Especie	CobR	AbunR	FrecR	IVI
<i>Miconia polyneura</i> Triana	20.13	24.21	11.76	56.11
<i>Hesperomeles obtusifolia</i> var. <i>obtusifolia</i>	18.73	17.89	14.71	51.34
<i>Freziera reticulata</i> Bonpl.	17.00	11.58	11.76	40.35
<i>Escallonia myrtilloides</i> Lf	16.48	9.47	5.88	31.83
<i>Gaiadendron punctatum</i> G.Don	8.19	1.05	2.94	12.18
<i>Weinmannia rollottii</i> Killip	3.02	4.21	5.88	13.12
<i>Weinmannia mariquitae</i> Szyszyl.	2.68	4.21	5.88	12.77
<i>Andesanthus paleaceus</i> (Triana) PJFGuim. y Miguel Ángel.	3.05	6.32	2.94	12.31
<i>Weinmannia elliptica</i> Kunth	2.51	3.16	5.88	11.55
<i>Palicourea</i> sp.	2.50	3.16	2.94	8.60
<i>Brunellia goudotii</i> Tul.	2.33	2.11	2.94	7.37
<i>Geissanthus serulatus</i> (Willd. ex Roem. & Schult.)	0.37	2.11	2.94	5.41
Melastomataceae	0.35	2.11	2.94	5.39
<i>Chaetogastra mollis</i> (Bonpl.) DC.	0.96	2.11	2.94	6.00
Melastomataceae	0.93	1.05	2.94	4.92

<i>Morella pubescens</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Wilbur	0.61	1.05	2.94	4.60
<i>Freziera canescens</i> Humb. & Bonpl.	0.06	1.05	2.94	4.05
<i>Linochilus rosmarinifolius</i> Benth.	0.05	1.05	2.94	4.04
<i>Hesperomeles obtusifolia</i> var. <i>obtusifolia</i>	0.03	1.05	2.94	4.03
<i>Gaultheria myrsinoides</i> Kunth	0.03	1.05	2.94	4.02
Romerales				
Especie	CobR	AbunR	FrecR	IVI
<i>Disterigma acuminatum</i> (Kunth) Nied.	8.39	9.59	3.73	21.71
<i>Espeletia hartwegiana</i> Sch.Bip. ex Cuatrec.	7.21	8.32	3.73	19.26
<i>Blechnum loxense</i> (Kunth) Hook. ex Salomon	6.49	6.61	3.73	16.83
<i>Rhynchospora macrochaeta</i> Steud. ex Boeckeler	5.15	5.76	3.73	14.64
<i>Puya trianae</i> Baker	5.10	5.54	3.73	14.38
<i>Linochilus rosmarinifolius</i> Benth.	5.02	5.12	3.73	13.87
<i>Chusquea tessellata</i> Munro	5.73	5.97	0.75	12.44
<i>Gaultheria myrsinoides</i> Kunth	4.31	4.48	3.73	12.52
<i>Weinmannia mariquitae</i> Szyszyl.	4.15	4.26	3.73	12.14
<i>Hypericum laricifolium</i> Juss.	3.83	3.84	3.73	11.40
<i>Myrsine dependens</i> (Ruiz & Pav.) Spreng.	3.54	3.62	3.73	10.90
<i>Chaetogastra grossa</i> (Lf) PJFGuim. & Michelang.	3.17	3.20	3.73	10.10
<i>Miconia chlorocarpa</i> Cogn.	2.78	2.77	2.99	8.53
<i>Pentacalia</i> sp.	6.22	1.28	1.49	8.99
<i>Paramochloa effusa</i> (Kunth) Steud.	2.52	2.35	3.73	8.59
<i>Polylepis sericea</i> Wedd.	2.99	2.56	2.99	8.54
<i>Linochilus tenuifolius</i> (Cuatrec.) Saldivia & O.M. Vargas	2.31	1.92	3.73	7.96
<i>Escallonia myrtilloides</i> Lf	1.63	0.85	2.99	5.47
<i>Gaultheria sclerophylla</i> Cuatrec.	0.72	1.49	2.24	4.45
<i>Miconia</i> sp.1	0.40	1.07	2.99	4.46
<i>Gynoxys</i> sp.	0.84	1.28	2.24	4.36
<i>Hesperomeles obtusifolia</i> var. <i>obtusifolia</i>	0.75	1.07	2.24	4.06
<i>Gaiadendron punctatum</i> G.Don	1.23	1.28	1.49	4.00
<i>Geissanthus andinus</i> Mez	1.53	1.49	0.75	3.77
<i>Saracha quitensis</i> (Gancho.) Miers	1.42	1.07	2.24	4.72
<i>Linochilus</i> sp.	1.13	0.85	1.49	3.47
<i>Hedyosmum cumbalense</i> H.Karst.	0.95	0.85	1.49	3.30
<i>Oreopanax tolimanus</i> Harms	0.62	0.64	1.49	2.75
<i>Berberis verticillata</i> Turcz.	0.40	0.43	1.49	2.32
<i>Miconia</i> sp. 2	0.95	0.85	0.75	2.55
<i>Brachyotum lindenii</i> Cogn.	0.91	0.64	0.75	2.30
<i>Plutarchia monantha</i> ACSm.	0.59	0.64	0.75	1.98
<i>Plagiochila</i> sp.	0.58	0.64	0.75	1.96
<i>Linochilus schultzii</i> (Wedd.) Saldivia & O.M. Vargas	0.10	0.64	0.75	1.49
<i>Baccharis prunifolia</i> Kunth	0.06	0.43	1.49	1.98
<i>Ugni myricoides</i> (Kunth) O. Berg	0.04	0.43	1.49	1.96
<i>Pentacalia vaccinioides</i> (Kunth) Cuatrec.	0.04	0.43	1.49	1.96
<i>Weinmannia rollottii</i> Killip	0.58	0.64	0.75	1.96
<i>Fuchsia caucana</i> P.E. Berry	0.72	0.64	0.75	2.11
<i>Desfontainia spinosa</i> Ruiz & Pav.	0.65	0.43	0.75	1.82
<i>Cortaderia nitida</i> (Kunth) Pilg.	0.43	0.43	0.75	1.61



<i>Greigia vulcanica</i> André	0.87	0.64	0.75	2.25
<i>Blechnum occidentale</i> L.	0.65	0.43	0.75	1.82
<i>Miconia tinifolia</i> Naudin	0.36	0.43	0.75	1.53
<i>Gaultheria anastomosans</i> (Mutis ex Lf) Kunth	0.51	0.43	0.75	1.68
<i>Elleanthus maculatus</i> (Lindl.) Rchb.f.	0.43	0.21	0.75	1.39
<i>Ageratina popayanensis</i> (Hieron.) RMKing y H.Rob.	0.29	0.21	0.75	1.25
<i>Neurolepis</i> sp.	0.23	0.21	0.75	1.19
<i>Siphocampylus benthamianus</i> Walp.	0.22	0.21	0.75	1.18
<i>Thelypteris</i> sp.	0.14	0.21	0.75	1.10
<i>Munnozia jussieu</i> (Cass.) H.Rob. & Brettell	0.06	0.21	0.75	1.02
<i>Hesperomeles ferruginea</i> (Juss. ex Pers.) Benth.	0.03	0.21	0.75	0.99
<i>Pentacalia weinmannifolia</i> (Cuatrec.) Cuatrec.	0.01	0.21	0.75	0.97
Campanario				
Especie	CobR	AbunR	FrecR	IVI
<i>Gaultheria myrsinoides</i> Kunth	13.00	10.70	8.65	32.36
<i>Espeletia hartwegiana</i> Sch.Bip. ex Cuatrec.	11.11	13.38	6.73	31.22
<i>Hesperomeles</i> (Juss. ex Pers.) Benth.	5.87	6.02	5.77	17.66
<i>Chusquea tessellata</i> Munro	4.44	7.02	4.81	16.28
<i>Linochilus tenuifolius</i> (Cuatrec.) Saldivia & O.M.Vargas	6.28	6.69	4.81	17.78
<i>Lycopodium clavatum</i> L.	4.15	4.35	4.81	13.31
<i>Gaiadendron punctatum</i> G.Don	5.54	5.02	3.85	14.40
<i>Hypericum laricifolium</i> Juss.	2.90	2.01	3.85	8.75
<i>Myrteola nummularia</i> (Poir) Berg	4.54	4.68	2.88	12.10
<i>Disterigma empetrifolium</i> (Kunth) Neid.	6.40	4.01	2.88	13.29
<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth	2.57	2.68	2.88	8.13
<i>Cortaderia nitida</i> (Kunth) Pilg.	1.85	2.01	2.88	6.74
<i>Sphagnum magellanicum</i> Brid.	2.84	1.67	2.88	7.40
<i>Lycopodium</i> sp.	1.58	1.67	2.88	6.14
<i>Bomarea linifolia</i> (Kunth) Baker	0.84	1.00	2.88	4.73
<i>Hesperomeles obtusifolia</i> var. <i>obtusifolia</i>	0.79	1.00	2.88	4.68
<i>Linochilus schultzii</i> (Wedd.) Saldivia & O.M.Vargas	3.66	3.01	1.92	8.59
<i>Hypericum goyanensis</i> Cuatrec.	0.33	2.34	1.92	4.59
<i>Chaetogastra grossa</i> (Lf) PJFGuim. & Michelang.	2.12	1.67	1.92	5.71
<i>Myrteola nummularia</i> (Poir.) O.Berg	2.84	2.01	0.96	5.80
<i>Saracha quitensis</i> (Gancho.) Miers	1.52	1.67	0.96	4.15
<i>Gaultheria sclerophylla</i> Cuatrec.	1.52	1.34	0.96	3.82
<i>Huperzia</i> sp.	0.79	1.34	0.96	3.09
<i>Plutarchia monantha</i> ACSm.	0.70	1.00	0.96	2.66
<i>Lachemilla nivalis</i> (Kunth) Rothm.	0.66	1.00	0.96	2.62
<i>Geranium multiceps</i> Turcz.	0.30	1.00	0.96	2.26
<i>Monochaetum hartwegianum</i> Naudin	1.19	0.67	0.96	2.82
<i>Myrsine dependens</i> (Ruiz & Pav.) Spreng.	0.86	0.67	0.96	2.49
<i>Miconia sericea</i> (D.Don) Michelang.	0.73	0.67	0.96	2.36
<i>Monnina crassifolia</i> (Bonpl.) Kunth	0.72	0.67	0.96	2.35
<i>Pleurozium schreberi</i> (Willd. ex Brid.) Mitt.	0.53	0.67	0.96	2.16
<i>Blechnum schomburgkii</i> (Klotzsch) C.Chr.	1.06	0.33	0.96	2.35
<i>Bomarea angustipetala</i> Baker	0.73	0.33	0.96	2.02
<i>Hymenophyllum</i> sp.	0.33	0.33	0.96	1.63

<i>Miconia salicifolia</i> Naudin	0.33	0.33	0.96	1.63
<i>Plutarchia</i> sp.	0.33	0.33	0.96	1.63
<i>Campylopus ridleyi</i> (Dixon) Manuel	0.26	0.33	0.96	1.56
<i>Disterigma alaternoides</i> (Kunth) Neid.	0.26	0.33	0.96	1.56
<i>Fuchsia caucana</i> P.E. Berry	0.20	0.33	0.96	1.49
<i>Asteraceae</i> sp.1	0.13	0.33	0.96	1.43
<i>Elaphoglossum</i> sp.	0.09	0.33	0.96	1.39
<i>Asteraceae</i> sp. 2	0.07	0.33	0.96	1.36
<i>Epidendrum frutex</i> Rchb.f.	0.07	0.33	0.96	1.36
La Garita				
Especie	CobR	AbunR	FrecR	I.V. I
<i>Disterigma acuminatum</i> (Kunth) Neid.	17.1	7.9	2.8	27.8
<i>Chusquea tessellata</i> Munro	12.1	7.9	2.8	22.8
<i>Espeletia hartwegiana</i> Sch.Bip. ex Cuatrec. Cuatrec. Sch.Bip. ex Cuatrec.	11.2	4.1	2.2	17.5
<i>Pentacalia</i> sp.	8.1	4.6	2.2	14.9
<i>Plutarchia monantha</i> ACSm.	4.7	4.1	2.8	11.6
<i>Hypericum laricifolium</i> Juss.	3.0	4.6	2.8	10.4
<i>Rhynchospora caucana</i> Bonpl. & Kunth	4.2	3.1	2.2	9.6
<i>Myrsine dependens</i> (Ruiz & Pav.) Spreng.	1.7	3.3	2.8	7.8
<i>Miconia chlorocarpa</i> Cogn.	2.0	2.8	2.2	7.0
<i>Gaiadendron punctatum</i> G.Don	2.4	2.8	1.7	6.8
<i>Greigia vulcanica</i> André	1.2	2.8	2.8	6.8
<i>Miconia</i> sp.1	2.1	2.2	2.2	6.6
<i>Gaultheria myrsinoides</i> Kunth	0.9	2.8	2.8	6.5
<i>Cortaderia nitida</i> (Kunth) Pilg.	2.1	1.7	2.2	6.0
<i>Gaultheria anastomosans</i> (Mutis ex Lf) Kunth	1.8	1.7	2.2	5.7
<i>Gaultheria sclerophylla</i> Cuatrec.	0.9	2.6	2.2	5.7
<i>Linochilus schultzii</i> (Wedd.) Saldivia & O.M.Vargas	2.0	1.5	2.2	5.7
<i>Disterigma empetrifolium</i> (Kunth) Neid.	0.7	2.0	2.8	5.5
<i>Blechnum loxense</i> (Kunth) Hook. ex Salomon	1.3	2.2	1.7	5.2
<i>Miconia</i> sp. 2	1.8	1.7	1.7	5.2
<i>Geissanthus andinus</i> Mez	1.0	2.8	1.1	4.9
<i>Chaetogastra grossa</i> (Lf) P.J.F. Guim. & Michelang.	1.6	1.5	1.7	4.8
<i>Hesperomeles ferruginea</i> (Juss. ex Pers.) Benth.	0.5	1.7	2.2	4.4
<i>Bomarea linifolia</i> (Kunth) Baker	0.3	1.8	2.2	4.4
<i>Miconia latifolia</i> (D. Don) Naudin	0.7	1.3	2.2	4.3
<i>Fuchsia caucana</i> P.E. Berry	0.5	1.5	2.2	4.2
<i>Weinmannia mariquitae</i> Szyszyl.	1.1	1.3	1.7	4.1
<i>Lycopodium clavatum</i> L.	1.4	1.5	1.1	3.9
<i>Ugni myricoides</i> (Kunth) O.Berg	0.4	1.1	2.2	3.8
<i>Weinmannia rollottii</i> Killip	0.8	1.1	1.7	3.6
<i>Paramochloa effusa</i> (Kunth) Steud.	2.2	0.7	0.6	3.5
<i>Thelypteris</i> sp.	0.4	1.1	1.7	3.2
<i>Hesperomeles obtusifolia</i> var. <i>obtusifolia</i>	0.5	0.9	1.7	3.1
<i>Miconia tinifolia</i> Naudin	0.6	1.3	1.1	3.0
<i>Desfontainia spinosa</i> Ruiz & Pav.	0.4	0.9	1.7	3.0
<i>Prionodon</i> sp.	0.5	0.7	1.7	2.9
<i>Gynoxys laurata</i> Cuatrec.	0.3	0.9	1.7	2.9



<i>Saracha quitensis</i> (Gancho.) Miers	0.5	1.1	1.1	2.7
<i>Pleopeltis</i> sp.	0.2	0.7	1.7	2.6
<i>Cavendishia bracteata</i> (Ruiz & Pav. ex J.St.Hil.)	0.9	0.6	1.1	2.6
<i>Munnozia jussieui</i> (Cass.) H.Rob. & Brettell	0.4	0.9	1.1	2.4
<i>Gaultheria cordata</i> Lem.	0.3	0.7	1.1	2.2
<i>Maytenus myricoides</i> Triana & Planch.	0.4	0.6	1.1	2.1
<i>Aequatorium sinuatifolium</i> S.Díaz & Cuatrec.	0.3	0.6	1.1	2.0
<i>Sphagnum magellanicum</i> Brid.	0.2	0.4	1.1	1.7
<i>Oreopanax tolimanus</i> Harms	0.1	0.4	1.1	1.6
<i>Ageratina popayanensis</i> (Hieron.) RMKing y H.Rob.	0.1	0.4	1.1	1.6
<i>Weinmannia sorbifolia</i> Kunth	0.1	0.4	1.1	1.6
<i>Gomphichis caucana</i> Schltr.	0.1	0.4	1.1	1.6
<i>Niphogeton ternata</i> (Willd. ex Schult.) Mathias y Constanza	0.0	0.4	1.1	1.5
<i>Miconia salicifolia</i> Naudin	0.0	0.4	1.1	1.5
<i>Cortaderia nitida</i> (Kunth) Pilg.	0.3	0.4	0.6	1.2
<i>Puya trianae</i> Baker	0.1	0.6	0.6	1.2
<i>Hesperomeles obtusifolia</i> var. <i>obtusifolia</i> (Pers.) Lindl.	0.2	0.4	0.6	1.1
<i>Pentacalia weinmannifolia</i> (Cuatrec.) Cuatrec.	0.1	0.4	0.6	1.0
<i>Linochilus tenuifolius</i> (Cuatrec.) Saldivia & O.M. Vargas	0.2	0.2	0.6	0.9
<i>Escallonia myrtilloides</i> Lf	0.1	0.2	0.6	0.9
<i>Gunnera pilosa</i> Kunth	0.1	0.2	0.6	0.9
<i>Ilex colombiana</i> Cuatrec.	0.1	0.2	0.6	0.8
<i>Linochilus rosmarinifolius</i> Benth.	0.1	0.2	0.6	0.8
<i>Elaphoglossum</i> sp.	0.1	0.2	0.6	0.8
<i>Gaultheria sclerophylla</i> Cuatrec.	0.1	0.2	0.6	0.8
<i>Monochaetum hartwegianum</i> Naudin	0.1	0.2	0.6	0.8
<i>Monnina crassifolia</i> (Bonpl.) Kunth	0.1	0.2	0.6	0.8
<i>Siphocampylus benthamianus</i> Walp.	0.0	0.2	0.6	0.8
<i>Cavendishia nitida</i> (Kunth) A.C.S.m.	0.0	0.2	0.6	0.8
La Línea				
Especie	CobR	AbunR	FrecR	IVI
<i>Gaultheria myrsinoides</i> Kunth	14.0	45.2	8.1	38.0
<i>Puya trianae</i> Baker	9.8	25.8	8.1	27.1
<i>Linochilus rosmarinifolius</i> Benth.	8.9	24.2	4.8	22.3
<i>Hypericum juniperinum</i> Kunth	8.0	22.6	6.5	22.5
<i>Gaiadendron punctatum</i> G.Don	8.0	22.6	6.5	22.6
<i>Hesperomeles ferruginea</i> (Juss. ex Pers.) Benth.	7.3	21.0	6.5	21.3
<i>Blechnum loxense</i> (Kunth) Hook. ex Salomon	8.0	21.0	6.5	21.5
<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth	5.7	14.5	4.8	15.7
<i>Disterigma empetrifolium</i> (Kunth) Neid.	4.7	11.3	3.2	11.8
<i>Escallonia myrtilloides</i> Lf	4.2	9.7	3.2	10.7
<i>Espeletia hartwegiana</i> Sch.Bip. ex Cuatrec.	3.5	9.7	4.8	12.0
<i>Lycopodium clavatum</i> L.	3.4	9.7	3.2	10.2
<i>Weinmannia mariquitae</i> Szyszyl.	3.5	9.7	3.2	10.2
<i>Gnaphalium elegans</i> Kunth	2.4	6.5	3.2	8.1
<i>Cortaderia nitida</i> (Kunth) Pilg.	1.6	3.2	3.2	5.9
<i>Paramochloa effusa</i> (Kunth) Steud.	1.3	3.2	3.2	5.8
<i>Epidendrum frutex</i> Rchb.f.	1.1	3.2	3.2	5.2

<i>Disterigma acuminatum</i> (Kunth) Neid.	1.3	3.2	3.2	5.2
<i>Lobelia tenera</i> Kunth	1.6	3.2	3.2	5.8
<i>Hypericum laricifolium</i> Juss.	0.9	3.2	3.2	5.2
<i>Jamesonia alstonii</i> A.F. Tryon	0.3	3.2	3.2	5.3
<i>Gomphichis caucana</i> Schltr.	0.5	3.2	3.2	4.9
<i>Hesperomeles obtusifolia</i> var. <i>obtusifolia</i> (Pers.) Lindl.	0.4	1.6	1.6	2.5
Mellizas				
Especie	CobR	AbunR	FrecR	IVI
<i>Paramochloa effusa</i> (Kunth) Steud.	12.5	7.3	4.4	24.3
<i>Hypericum laricifolium</i> Juss.	6.0	6.9	3.5	16.5
<i>Gaultheria myrsinoides</i>	5.9	6.5	3.5	16.0
<i>Gaultheria sclerophylla</i>	3.6	4.6	3.5	11.8
<i>Espeletia hartwegiana</i> Sch.Bip. ex Cuatrec.	3.4	4.2	2.7	10.3
<i>Chusquea tessellata</i> Munro	3.2	3.8	2.7	9.7
<i>Chaetogastra grossa</i> (Lf) PJFGuim. & Michelang.	3.4	3.8	1.8	9.0
<i>Elaphoglossum</i> sp.	2.3	3.5	2.7	8.4
<i>Thelypteris rudis</i> (Kunze) Proctor	2.2	3.5	1.8	7.4
<i>Weinmannia mariquitae</i> Szyszyl.	2.8	3.5	1.8	8.1
<i>Blechnum</i> sp.	2.7	3.1	3.5	9.3
<i>Pentacalia vaccinioides</i> (Kunth) Cuatrec.	2.7	3.1	2.7	8.5
<i>Plutarchia monantha</i> A.C. Sm.	2.6	2.7	3.5	8.8
<i>Lycopodium clavatum</i> L.	2.6	2.7	2.7	8.0
<i>Disterigma acuminatum</i> (Kunth) Neid.	2.8	2.7	2.7	8.2
<i>Myrsine dependens</i> (Ruiz & Pav.) Spreng.	2.0	1.9	1.8	5.7
<i>Valeriana microphylla</i> Kunth	2.0	1.9	1.8	5.7
<i>Maytenus novogranatensis</i> Cuatrec.	2.2	1.9	1.8	5.9
<i>Hesperomeles obtusifolia</i> var. <i>obtusifolia</i>	1.3	1.5	3.5	6.4
<i>Cortaderia nitida</i> (Kunth) Pilg.	1.6	1.5	1.8	4.9
<i>Brachyotum lindenii</i> Cogn.	1.9	1.5	1.8	5.2
<i>Cavendishia bracteata</i> (Ruiz & Pav. ex J.St.Hil.)	2.1	1.5	1.8	5.4
<i>Pentacalia</i> sp.1	2.3	1.5	0.9	4.7
<i>Cladonia</i> sp.	2.1	1.5	0.9	4.5
<i>Miconia polineura</i>	1.6	1.2	1.8	4.6
<i>Poacea</i> sp.	1.1	1.2	1.8	4.0
<i>Rhynchospora</i> sp.	0.8	1.2	1.8	3.7
<i>Melpomene</i> sp.	0.5	1.2	1.8	3.5
<i>Pentacalia</i> sp. 2	2.0	1.2	1.8	4.9
<i>Miconia</i> sp.1	2.3	1.2	0.9	4.3
<i>Escallonia myrtilloides</i> Lf	2.6	1.2	0.9	4.7
<i>Blechnum loxense</i> (Kunth) Hook. ex Salomon	1.4	1.2	0.9	3.5
<i>Orchidaceae</i> sp.	0.9	0.8	1.8	3.4
<i>Ageratina tinifolia</i> (Kunth) R.M. King y H.Rob.	0.5	0.8	1.8	3.1
<i>Anthoxanthum odoratum</i> L.	0.2	0.8	1.8	2.8
<i>Vallea stipularis</i> L.f	0.2	0.8	1.8	2.8
<i>Hesperomeles obtusifolia</i> var. <i>obtusifolia</i>	0.2	0.8	0.9	1.9
<i>Chuquiraga jussieui</i> J.F. Gmel.	0.2	0.8	0.9	1.9
<i>Gaiadendron punctatum</i> G.Don	2.3	0.8	0.9	3.9
<i>Miconia tinifolia</i> Naudin	2.2	0.4	0.9	3.5



Morfo 1.	0.9	0.4	0.9	2.1
<i>Blechnum chiriquanum</i> (Broadh.) C.Chr.	0.7	0.4	0.9	1.9
<i>Disterigma codonanthum</i> S.F. Blake	0.4	0.4	0.9	1.7
<i>Galium hypocarpium</i> (L.) Endl. ex Griseb.	0.2	0.4	0.9	1.5
<i>Jamesonia</i> sp.	0.2	0.4	0.9	1.5
<i>Linochilus</i> sp.	0.2	0.4	0.9	1.5
<i>Prionodon</i> sp.	0.2	0.4	0.9	1.5
<i>Rubus choachiensis</i> A.Berger	0.2	0.4	0.9	1.5
<i>Selaginella</i> sp.	0.2	0.4	0.9	1.5
<i>Sphagnum magellanicum</i> Brid.	0.2	0.4	0.9	1.5
<i>Thalictrum podocarpum</i> Kunth	0.2	0.4	0.9	1.5
<i>Ageratum conyzoides</i> L.	0.1	0.4	0.9	1.4
<i>Berberis verticillata</i> Turcz.	0.1	0.4	0.9	1.4
<i>Bomarea angustipetala</i> Baker	0.1	0.4	0.9	1.4
<i>Equisetum bogotense</i> Kunth	0.1	0.4	0.9	1.4
<i>Oxalis integra</i> R. Knuth	0.1	0.4	0.9	1.4
<i>Palincula</i> sp.	0.1	0.4	0.9	1.4
<i>Plantago australis</i> Lam.	0.1	0.4	0.9	1.4
<i>Puya trianae</i> Baker	0.1	0.4	0.9	1.4
<i>Saurauia ursina</i> Triana & Planch.	0.1	0.4	0.9	1.4
<i>Thalictrum podocarpum</i> Kunth	0.1	0.4	0.9	1.4

Tres conservados (La Garita, Mellizas, Romerales) y tres intervenidos (Camino Nacional, La Línea, Campanario). / Three are conserved (La Garita, Mellizas, Romerales) and three have been disturbed (Camino Nacional, La Línea, Campanario). / CobR = cobertura relativa; AbunR = abundancia relativa (longitud interceptada relativa); FrecR = frecuencia relativa; IVI = CobR + AbunR + FrecR.

Se realizó un inventario florístico complementario para estimar la riqueza total de la flora de los páramos del Quindío, donde se registraron 519 especies, con predominio de angiospermas y una contribución notable de briófitos, lo que evidencia la importancia de los componentes vasculares y no vasculares en estos ecosistemas. Dentro de los briófitos, las (Marchantiophyta) constituyeron el grupo más

representativo, seguidas por las (Bryophyta), mientras que los (Anthocerotophyta) estuvieron escasamente representados. La distribución detallada de especies y porcentajes por grandes grupos se presenta en la Tabla 2.

Este inventario amplía significativamente el conocimiento florístico del páramo en la región y permite relacionar el muestreo en parcelas con el contexto florístico más amplio

Tabla 2
Riqueza florística por grupo taxonómico en los páramos de Quindío, Colombia. / **Table 2.** Floristic richness by taxonomic group in the paramos of Quindío, Colombia.

Grupo	Subgrupo	Número de especies	Porcentaje total
Briofitas	Marchantiophyta	160	30.8
	Bryophyta	71	13.7
	Anthocerotophyta	3	0.6
Helechos y plantas afines	Lycophytas	6	1.2
	Monilophytas	20	3.9
Angiospermas	Liliopsidas	50	9.6
	Magnoliopsidas	209	40.3
Total		519	100

del ecosistema, asimismo, pone de manifiesto la importancia de las briofitas como componentes clave de la biodiversidad de alta montaña, particularmente en zonas conservadas, donde su diversidad estructural es mayor.

DISCUSIÓN

Diversidad: A partir de la riqueza observada, los índices de Shannon y Simpson, así como los estimadores de riqueza (Chao-1 y ACE), revelaron diferencias marcadas entre localidades con distinto grado de conservación. Las zonas conservadas como La Garita CC, Mellizas PC y Romerales SC muestran los valores más altos de riqueza florística (69, 63 y 58 especies, respectivamente), mientras que Camino Nacional SI y La Línea PI, ambas altamente intervenidas, registraron las cifras más bajas (20 y 24 especies). Esta tendencia concuerda con estudios que han demostrado que la intervención antrópica, especialmente la ganadería, agricultura intensiva y el turismo no regulado, reduce la diversidad específica al eliminar microhábitats y compactar los suelos (Benavides & Armenteras, 2006; López-Camacho & Rangel-Ch., 2021).

En q1 indica que Campanario CI ($H' = 3.859$) alcanzó una alta diversidad efectiva a pesar de ser clasificada como zona intervenida, este valor puede explicarse por la presencia de mosaicos de vegetación secundaria, resultado de una recuperación temprana, donde conviven especies pioneras con relictos de vegetación original. Por el contrario, Camino Nacional SI ($H' = 2.544$) registro menor diversidad y equidad, resultado de la dominancia de especies adaptadas al disturbio, lo cual es indicativo de comunidades inestables y menos resilientes (Rangel-Ch. & Arellano-P., 2010).

El perfil q2 complementa esta interpretación, la localidad Camino Nacional SI presentó el valor más alto (0.1158), lo que refleja una comunidad fuertemente dominada por pocas especies como es el caso de *M. polyneura*, *H. obtusifolia* var. *obtusifolia* y *F. reticulata*. En contraste, La Garita CC y Campanario CI mostraron menor dominancia (0.02938 y 0.02198),

lo que sugiere una distribución más equitativa entre las especies presentes. Asimismo, los estimadores de riqueza Chao-1 y ACE sugieren que localidades como La Garita CC, La Línea PI y Campanario CI aún podrían albergar especies no detectadas, especialmente en hábitats heterogéneos, lo que respalda su valor para futuras acciones de conservación y monitoreo (Cleef et al., 2012).

La similitud florística entre localidades evidencia un alto reemplazo específico, en general entre pares no superó el 45 %, lo que indica estructuras vegetales fuertemente diferenciadas, este patrón de baja similitud es característico de paisajes de páramo con alta heterogeneidad ambiental y distintos grados de perturbación, lo cual ha sido reportado en páramos de la cordillera Oriental y Central (Londoño et al., 2014; Madriñán et al., 2013).

Localidades como Romerales SC y La Garita CC, ambas conservadas, compartieron una composición florística más similar, evidenciada por la presencia conjunta de especies estructurales como *E. hartwegiana*, *D. acuminatum* y *C. tessellata*, esto sugiere que los factores abióticos similares, junto con un menor grado de perturbación, favorecen la convergencia florística entre zonas con buen estado de conservación. En cambio, el Camino Nacional SI aparece aislado de los demás agrupamientos, reflejando una composición florística marcadamente distinta, patrón coherente con sus bajos niveles de riqueza, alta dominancia y menor equidad, indicativos de un ecosistema alterado donde predominan especies pioneras o tolerantes, con poca afinidad florística con los páramos conservados.

Cabe destacar que Campanario CI y La Línea PI, aunque ambas intervenidas, se agrupan entre sí, probablemente debido a compartir especies propias de vegetación secundaria, pero aún conservan cierta heterogeneidad interna. En tanto, Mellizas PC, a pesar de estar clasificada como conservada, mostró afinidad intermedia, lo que podría deberse a su fisionomía predominante de pajonal, donde la cobertura abierta y las condiciones edáficas favorecen un subconjunto distinto de especies.



La combinación de los patrones de diversidad alfa y beta apunta a que los páramos conservados no solo mantienen mayor riqueza local, sino que además presentan mayores niveles de diferenciación florística entre sí, lo cual es esencial para mantener el funcionamiento ecosistémico regional. En contraste, las zonas intervenidas tienden a homogeneizarse, con comunidades dominadas por pocas especies generalistas, lo que implica una pérdida de funcionalidad ecológica y resiliencia frente a perturbaciones (Rodríguez et al., 2020).

Este comportamiento es coherente con la hipótesis de que la intervención antrópica reduce la diversidad beta al simplificar los ensamblajes florísticos, favoreciendo especies que pueden establecerse en condiciones alteradas y desplazando aquellas más exigentes ecológicamente (Zambrano & Cleef, 2022). Por tanto, en la conservación de los páramos del Quindío debe priorizar tanto la protección de localidades con alta diversidad como la conectividad entre unidades con alta disimilitud, lo que permitirá mantener corredores ecológicos y procesos de resiliencia a largo plazo.

Estructura vertical – Hábitos de crecimiento: Este patrón concuerda con lo observado en otros páramos de los Andes colombianos, donde las condiciones ambientales extremas, como baja temperatura, alta radiación UV, vientos intensos y suelos poco desarrollados, limitan la presencia de formas arbóreas, favoreciendo hábitos de crecimiento más bajos y adaptativos (Londoño et al., 2014; Rangel-Ch., 2000). La alta proporción de especies arbustivas (45.5 %) puede explicarse por su capacidad de adaptación a suelos pobres y exposición a condiciones de estrés hídrico. Muchas de estas especies presentan estructuras leñosas bajas, ramas densas y hojas coriáceas o pubescentes, lo que les permite conservar agua y resistir la acción del viento y la radiación solar intensa. Estudios realizados en páramos de la cordillera Oriental y Central han señalado que estos arbustos son claves para la protección del suelo, el control de la erosión y el establecimiento de

otras especies por facilitación (Cleef et al., 2012; Morales et al., 2011).

Las hierbas (22.9 %) también fueron muy representativas, estas formas de vida suelen dominar áreas abiertas o con perturbación moderada, donde su ciclo de vida corto y estrategias de reproducción rápida les permite colonizar espacios disponibles tras perturbaciones naturales o antrópicas. Este grupo incluye tanto especies perennes como anuales, y desempeñan un papel esencial en la cobertura del suelo, ciclo de nutrientes y productividad primaria del ecosistema (Benavides & Armenteras, 2006).

En cuanto a las epífitas (17.1 %), su riqueza fue considerable, lo que sugiere la existencia de microhábitats estructuralmente complejos, especialmente en zonas con arbustos y pequeños árboles que ofrecen sustrato para su establecimiento, estas especies, que en su mayoría pertenecen a familias como Orchidaceae, Gesneriaceae y Bromeliaceae, dependen de la humedad ambiental y la interceptación de nutrientes por neblina o lluvia, y han sido reportadas como sensibles a cambios en el microclima y en la cobertura vegetal (Sklenář & Ramsay, 2001).

Otros hábitos como rosetas caulescentes y acaules, aunque poco frecuentes (1.3 %), son icónicos del páramo y desempeñan funciones ecológicas clave. Por ejemplo, especies como *E. hartwegiana* y *P. trianae* regulan la humedad del suelo, capturan agua del aire y ofrecen refugio a otras especies. Su arquitectura especializada, con hojas pubescentes y disposición en roseta, es una adaptación directa a las bajas temperaturas y alta irradiación del páramo (Smith & Cleef, 1988; Mora et al., 2020). Aunque menos frecuentes, hábitos de crecimiento como hemiepífitas, rasantes y parásitas cumplen funciones ecológicas importantes. Las hemiepífitas, por ejemplo, permiten conexiones verticales entre estratos, mientras que las parásitas como *Tristerix* y *Dendrophthora* indican relaciones tróficas complejas y niveles avanzados de coevolución. Las especies rasantes, por su parte, son cruciales en la retención de suelo y agua, especialmente en laderas expuestas (Rangel-Ch. & Arellano-P., 2010).

En conjunto, la distribución de hábitos de crecimiento revela una estructura vertical diversificada, reflejo de un ecosistema que, a pesar de los impactos antrópicos, mantiene aún un importante número de formas funcionales adaptadas a condiciones extremas. Esta diversidad fisionómica no solo es indicadora del estado ecológico de los páramos, sino que además está íntimamente ligada a procesos como la resiliencia frente al cambio climático, la retención hídrica y la capacidad de regeneración.

Estructura horizontal: En las localidades con buen estado de conservación, como La Garita CC, Mellizas PC y Romerales SC, se identificó una mayor equidad en la distribución del IVI entre especies estructurales como *E. hartwegiana*, *C. tessellata*, *Paramochloa effusa*, *D. acuminatum* e *Hypericum lancifolium*. Estas especies, ampliamente documentadas en estudios de páramo andino (Rangel-Ch. & Arellano-P., 2010), cumplen funciones ecológicas críticas, tales como la retención de agua, la protección contra la erosión y la creación de microhábitats.

La dominancia de *E. hartwegiana*, por ejemplo, no solo responde a su abundancia, sino también a su cobertura y frecuencia, atributos que la consolidan como una especie clave. Mora et al. (2020) destacan su papel como ingeniero ecosistémico, al facilitar el establecimiento de otras especies a través de la modificación del microclima local. Asimismo, la presencia destacada de gramíneas como *P. effusa* y especies semileñosas como *C. tessellata* indica una comunidad estructuralmente compleja y funcionalmente estable, como lo han evidenciado Cleef et al. (2012) en páramos de la cordillera Oriental.

En localidades intervenidas como La Línea PI y Camino Nacional SI, el IVI estuvo altamente concentrado en unas pocas especies, entre ellas *Miconia polyneura*, *Hesperomeles glabrata*, *Gaultheria myrsinioides* y *Puya trianae*. Esta concentración en el valor de importancia sugiere una pérdida en la diversidad taxonómica, acompañada de una simplificación de la estructura vegetal. Las especies del género

Miconia, según López-Camacho y Rangel-Ch. (2021), tienden a proliferar en ambientes perturbados, con suelos compactados y alta exposición solar, condiciones comunes en páramos afectados por turismo intensivo, agricultura o infraestructura.

P. trianae, a pesar de ser nativa, ha demostrado gran capacidad de adaptación a zonas abiertas y degradadas; su presencia dominante en estas localidades es consistente con estudios que la ubican como especie colonizadora post-perturbación (Benavides & Armenteras, 2006). Este tipo de dominancia reduce la diversidad estructural y limita las interacciones ecológicas, como la polinización cruzada o el establecimiento de especies epífitas y sombras dependientes, esenciales para mantener la integridad del ecosistema.

Además, el patrón de distribución del índice de valor de importancia sugiere que las zonas conservadas mantienen una vegetación con múltiples especies relevantes, mientras que las intervenidas son estructuralmente dependientes de pocos taxones, lo cual disminuye la resiliencia del sistema ante nuevos disturbios. Esta homogeneización florística, como lo han documentado Sklenář y Ramsay (2001), es uno de los síntomas más evidentes del deterioro de la funcionalidad ecosistémica en alta montaña.

La utilidad del IVI como herramienta de diagnóstico se reafirma al integrar medidas relativas de frecuencia, dominancia (cobertura) y abundancia/densidad, lo que permite identificar la importancia vegetacional y la jerarquía de dominancia de las especies dentro de una comunidad (Curtis & McIntosh, 1951; Mueller-Dombois & Ellenberg, 1974). En este estudio, su aplicación evidenció que, en los páramos conservados, las especies con mayor IVI corresponden a aquellas con alta cobertura y recurrencia espacial, coherentes con una estructura comunitaria mantenida por elementos característicos del sistema; mientras que, en las áreas intervenidas, aumentan los IVI de especies con elevada cobertura y repetición a lo largo de los transectos, un patrón consistente con la literatura que documenta que el pastoreo y las



quemas modifican la estructura y dominancia de la vegetación en páramos.

Composición de los páramos quindianos: El inventario florístico complementario de los páramos del Quindío reportó 519 especies, de las cuales 285 son vasculares (182 géneros, 80 familias) y 234 no vasculares que incluyen 160 hepáticas, 71 musgos y 3 antoceros. Esta diversidad es destacable considerando que el Quindío es el departamento más pequeño del país, y supera en densidad florística a varios páramos colombianos de mayor extensión. En comparación, el páramo de Chingaza alberga 853 especies de angiospermas en 96 familias, según el catálogo más actualizado (Betancur et al., 2018). Por su parte, el complejo Sumapaz Cruz Verde, el más extenso de Colombia, registra cerca de 1 640 especies vegetales, entre ellas muchas endémicas y con alto reemplazo florístico (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2024). Aunque estas cifras son superiores en número absoluto, el registro del Quindío resulta proporcionalmente alto, dado su limitado rango altitudinal y área geográfica. Además, la proporción de briofitas documentadas en este estudio resalta la importancia de los microhábitats húmedos típicos de estos ecosistemas.

La riqueza florística observada concuerda con patrones de diversidad reportados en otros páramos andinos y refuerza la idea de que incluso complejos relativamente pequeños, como los del Quindío, pueden constituir núcleos relevantes de biodiversidad altoandina. Este patrón ha sido registrado, por ejemplo, en páramos de la Sierra Nevada del Cocuy y en otros complejos de la cordillera Oriental y Central donde la riqueza puede ser alta pese a la extensión, particularmente en sectores con menor intervención antrópica (Cleef et al., 2012; Madriñán et al., 2013; Rangel-Ch., 2015).

Cabe señalar que estos resultados se interpretan a partir de patrones de diversidad (q_0 – q_2), dominancia (Simpson) y estructura (IVI) y, por tanto, no constituyen una medición directa de procesos como conectividad funcional o regeneración; más bien, sugieren cambios

estructurales y composicionales coherentes con un gradiente de intervención.

Declaración de ética: Los autores declaran que todos están de acuerdo con esta publicación y que han hecho aportes que justifican su autoría; que no hay conflicto de interés de ningún tipo; y que han cumplido con todos los requisitos y procedimientos éticos y legales pertinentes. Todas las fuentes de financiamiento se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad del Quindío y el Doctorado en Ciencias-Biología de la Universidad del Quindío, al programa de Biología UQ y al Herbario HUQ. A la Corporación Autónoma Regional del Quindío CRQ. A los diferentes especialistas que colaboraron para la identificación de grupos taxonómicos complejos.

REFERENCIAS

- Benavides, A. M., Ávila, F. A., & Toro, J. L. (2016). Patrón de ocupación, uso y manejo en el páramo de Sumapaz por los campesinos. *Universitas Humanística*, 82, 253–276.
- Benavides, J. C., & Armenteras, D. (2006). Efecto de la fragmentación del paisaje sobre la diversidad de especies de plantas vasculares en un área de bosques altoandinos, Colombia. *Ecología Aplicada*, 5(1–2), 43–52.
- Betancur, J., González, M. F., Hernández-Aldana, E., Castro, C., Gómez-Suescún, F., Hernández, D. E., Jaimes, M., & Galindo Tarazona, R. (2018). *Los colores del páramo de Chingaza: Guía de plantas*. Universidad Nacional de Colombia.
- Canfield, R. H. (1941). Application of the line interception method in sampling range vegetation. *Journal of Forestry*, 39(4), 388–394.
- Chao, A., & Jost, L. (2012). Coverage-based rarefaction and extrapolation: Standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, 93(12), 2533–2547. <https://doi.org/10.1890/11-1952.1>
- Chao, A., Chazdon, R. L., Colwell, R. K., & Shen, T.-J. (2005). A new statistical approach for assessing

- compositional similarity based on incidence and abundance data. *Ecology Letters*, 8(2), 148–159. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00707.x>
- Chao, A., Chazdon, R. L., Colwell, R. K., & Shen, T.-J. (2006). Abundance-based similarity indices and their estimation when there are unseen species in samples. *Biometrics*, 62(2), 361–371. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0420.2005.00489.x>
- Chao, A., Chiu, C.-H., & Jost, L. (2014). Unifying species diversity, phylogenetic diversity, functional diversity, and related similarity and differentiation measures through Hill numbers. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 45, 297–324. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-120213-091540>
- Cleef, A. M., Luteyn, J. L., & Sklenář, P. (2012). Páramos: Diversidad vegetal y origen de la flora de alta montaña en el neotrópico. *Botánica Alpina*, 122(1), 1–10.
- Colwell, R. K. (2013). *EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples* (Version 9.1.0) [Computer software].
- Colwell, R. K., Chao, A., Gotelli, N. J., Lin, S.-Y., Mao, C. X., Chazdon, R. L., & Longino, J. T. (2012). Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation and comparison of assemblages. *Journal of Plant Ecology*, 5(1), 3–21. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtr044>
- Curtis, J. T., & McIntosh, R. P. (1951). An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology*, 32(3), 476–496.
- Flantua, S., Castellanos-Castro, C., Diazgranados, M., Rodríguez-Zorro, P. A., Rueda, M. G., Etherington, T. R., & Tovar, C. (2021). Ecosystem services show variable responses to future climate conditions in the Colombian páramos. *PeerJ*, 9, e11370. <https://doi.org/10.7717/peerj.11370>
- Font Quer, P. (2001). *Diccionario de botánica* (2a ed.). Ediciones Península.
- Gentry, A. H. (1993). *A field guide to the families and genera of woody plants of northwest South America (Colombia, Ecuador, Peru): With supplementary notes on herbaceous taxa*. Conservation International.
- Hofstede, R., Calles, J., López, V., Polanco, R., Torres, F., Ulloa, J., Vásquez, A., & Cerra, M. (2014). *Los páramos andinos: ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo*. UICN.
- Hsieh, T. C., Ma, K. H., & Chao, A. (2016). iNEXT: An R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution*, 7(12), 1451–1456. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12613>
- IDEAM. (2021). *Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia* [Página web]. <https://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/inicio>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2010). *Caracterización y delimitación de ecosistemas estratégicos: Páramos (Colombia)* [Informe técnico]. IGAC.
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2), 363–375. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>
- Londoño, C., Cleef, A. M., & Madriñán, S. (2014). Rasgos de historia de vida y formas de crecimiento en páramos. En S. Madriñán, A. M. Cleef, & J. Rangel-Ch. (Eds.), *Páramos: Biodiversidad y servicios ecosistémicos*. Universidad Nacional de Colombia.
- López-Camacho, R., & Rangel-Ch., J. O. (2021). Biodiversidad y ecosistemas de páramo en Colombia: Estado del conocimiento y perspectivas. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 45(175), 441–456.
- Madriñán, S., Cortés, A. J., & Richardson, J. E. (2013). Páramo is the world's fastest evolving and coolest biodiversity hotspot. *Frontiers in Genetics*, 4, 192. <https://doi.org/10.3389/fgene.2013.00192>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2024). *Plan de manejo del PNN Sumapaz: Documento técnico (versión 2024)*.
- Mora, D. E., Torres, F., & Espinosa, M. (2020). Regulación hídrica en ecosistemas de páramo: Síntesis de evidencia y desafíos. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 14(3), 1–15.
- Morales, M., Pedraza, P., & Chaves, M. (2011). Estructura y dinámica de la vegetación de páramo bajo disturbio por ganadería y quemadas. *Acta Biológica Colombiana*, 16(2), 89–110.
- Mueller-Dombois, D., & Ellenberg, H. (1974). *Aims and methods of vegetation ecology*. John Wiley & Sons.
- Posit Team. (2024). *RStudio: Integrated development environment for R* [Computer software]. <https://posit.co/>
- R Core Team. (2024). *R: A language and environment for statistical computing* [Computer software]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Rangel-Ch., J. O. (Ed.). (2000). *Colombia diversidad biótica III: La región de vida paramuna*. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia; Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Rangel-Ch., J. O. (2015). *La diversidad biótica de Colombia: Páramo y alta montaña de la cordillera Oriental*. Universidad Nacional de Colombia.



- Rangel-Ch., J. O., & Arellano-P., H. (2010). Páramos de Colombia: Diversidad y endemismo. *Revista Colombiana de Biogeografía*, 8(2), 45–78.
- Rangel-Ch., J. O., & Velásquez, A. (1997). Vegetación del subpáramo y su transición bosque-páramo en Colombia. *Caldasia*, 19(1–2), 1–20.
- Rodríguez, N., Lasso, C. A., & Estupiñán-Suárez, L. M. (2020). Fragmentación y cambio de uso del suelo en ecosistemas altoandinos: Implicaciones para diversidad y estructura vegetal. *Revista de Biología Tropical*, 68(4), 1201–1217.
- Ruíz Murcia, F., Gutiérrez Valderrama, J. E., Dorado Delgado, J., Mendoza, J. E., Martínez Zuleta, C., Rojas Laserna, M., Hernández Gaona, D., & Rodríguez Salguero, M. (2015). *Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011–2100: Herramientas científicas para la toma de decisiones*. IDEAM, PNUD, MADS, DNP, y Cancillería.
- Rodríguez Eraso, N., Armenteras, D., & Retana, J. (2013). Land use change and ecosystem services in high Andean ecosystems of Colombia. *Ecosystem Services*, 5, 120–131.
- Sklenář, P., & Ramsay, P. M. (2001). Diversity of páramo plant communities in Ecuador. *Biodiversity and Conservation*, 10(8), 1399–1415.
- Smith, J. M. B., & Cleef, A. M. (1988). Composition and origins of the páramo flora. *Journal of Biogeography*, 15(5), 847–865.
- Zambrano, J., & Cleef, A. M. (2022). Disturbance gradients and floristic turnover in Andean páramos: Implications for conservation. *Journal of Vegetation Science*, 33(2), e13102.