

Artículo de investigación

Biodiversidad de las lagunas del Parque Nacional Natural Puracé: composición taxonómica y estados de conservación

Biodiversity of the lakes of Puracé National Natural Park: taxonomic composition and conservation status

Nicole Estefania Ibagon Escobar¹, Gustavo Adolfo Pisso Florez², Dayra Vanessa Ocampo-G³, Charles S. Muñoz-Nates⁴, Daniel Andrés Feriz-García¹, Jency Nathaly Palacio-Bayer¹, Laura Melissa Muñoz-Burbano¹, Carlos Cabezas¹, Jorge Mario Becoche Mosquera³, Egnna Magnolia Ñañez Muñoz³

¹ Fundación Universitaria de Popayán, Campus Los Robles, Km 8 vía Timbío, Popayán, Cauca, Colombia. nicoleibagon@gmail.com, investigacion@fup.edu.co, nathy.palacio2022@gmail.com, mlauramelissa396@gmail.com, carlos.cabezas@mail.fup.edu.co.

² Parque Nacional Natural Puracé, Popayán, Colombia. Fundación Herencia Natural, Medellín, Colombia. tapiflo@gmail.com

³ Universidad del Cauca, Calle 5 #4-70, Popayán, Colombia. dayraocampo@unicauca.edu.co, jbecoche@unicauca.edu.co, egnnita@unicauca.edu.co.

⁴ Museo de Historia Natural, Universidad del Cauca. Asociación Ornitológica del Cauca. Calle 5 # 4-70, Popayán (Cauca), Colombia. csmunoz@unicauca.edu.co

* For correspondence: nicoleibagon@gmail.com

Recibido: 03 de noviembre de 2024. Revisado: 19 de mayo de 2025. Aceptado: 14 de junio de 2025

Editor Asociado: Mónica Cadenazzi

Citation/ citar este artículo como: Ibagon Escobar, N. E., Pisso Florez, G. A., Ocampo-G, D. V., Muñoz-Nates, C. S., Feriz-García, D., Palacio-Bayer, J. N., Muñoz-Burbano, L. M., Cabezas, C., Becoche, J. y Ñañez, E. (2025). Biodiversidad de las lagunas del Parque Nacional Natural Puracé: composición taxonómica y estados de conservación. *Acta Biol. Colomb.*, 30(2), 82-93. <https://doi.org/10.15446/abc.v30n2.116978>

RESUMEN

Las lagunas de alta montaña del Parque Nacional Natural Puracé (PNN) en Colombia representan ecosistemas únicos con gran importancia ecológica y cultural, pero están amenazadas por actividades humanas y cambios ambientales. Este estudio tuvo como objetivo analizar la biodiversidad y el estado de conservación de tres lagunas (La Magdalena, Cusiyaco y San Rafael) con el fin de orientar futuras estrategias de manejo. Se utilizaron métodos de muestreo específicos según el grupo biológico: la inspección por encuentros visuales (VES) en anfibios, conteos desde puntos de observación para aves acuáticas, y recolección de macroinvertebrados mediante redes tipo D y Surber. Las plantas fueron estudiadas a través de transectos en ecosistemas de páramo y bosque altoandino. Los datos se analizaron con el índice de Bray-Curtis para evaluar la similitud entre lagunas. Los resultados mostraron una alta diversidad, registrando un total de 267 taxa, siendo las plantas el grupo más diverso. San Rafael presentó la mayor riqueza de anfibios, aves, macroinvertebrados y plantas acuáticas, mientras que La Magdalena y Cusiyaco mostraron similitudes en su composición biológica. Se identificaron taxa en peligro crítico, como *Atelopus ebenoides* y *Oxyura jamaicensis*. Los hallazgos destacan la importancia de implementar acciones de conservación específicas y monitoreo continuo para preservar la biodiversidad en estos ecosistemas vulnerables.

Palabras clave: Conservación ambiental, ecosistema acuático, lago, limnología, línea base ambiental.

ABSTRACT

The high-mountain lakes of the Puracé National Natural Park (PNN) in Colombia are unique ecosystems of great ecological and cultural significance, currently threatened by human activities and environmental changes. This study aimed to assess the biodiversity and conservation status of three lakes: La Magdalena, Cusiyaco, and San Rafael, in order to inform future management strategies. Taxon-specific sampling methods were applied: visual encounter surveys (VES) for amphibians, point-count observations for aquatic birds, and D-frame and Surber nets for macroinvertebrates. Plant communities were assessed using transects in páramo and high Andean forest ecosystems. Data were analyzed using the Bray-Curtis similarity index to compare biological composition among lakes. A total of 267 species were recorded, with plants being the most diverse group. San Rafael exhibited the highest species richness across

amphibians, birds, macroinvertebrates, and aquatic plants, while La Magdalena and Cusiyaco shared similar biological composition. Critically endangered species, such as *Atelopus ebenoides* and *Oxyura jamaicensis*, were identified. These findings underscore the need for targeted conservation actions and ongoing monitoring to safeguard biodiversity in these vulnerable high-altitude ecosystems.

Keywords: Aquatic ecosystem, environmental conservation, environmental monitoring, lake, limnology.

INTRODUCCIÓN

Las lagunas son ecosistemas léticos que actúan como zonas de inundación en las cuencas hidrográficas y ofrecen servicios ecosistémicos tanto tangibles, como el suministro de agua, la pesca y el turismo, como intangibles, entre ellos la conservación de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático. (Schallenberg *et al.*, 2013). Son sensibles a cambios ambientales, respondiendo rápidamente a factores naturales y de origen antrópico (Szabó *et al.*, 2020).

El PNN Puracé, en el suroccidente colombiano, abarca un rango altitudinal entre 2350 y 4700 m s. n. m. y es crucial para la hidrología regional, protegiendo cuencas de ríos importantes. Alberga 30 lagunas y otras zonas de alto valor ecológico, entre ellas páramos y bosques altoandinos. Estas zonas poseen además un notable atractivo turístico debido a su biodiversidad. (Steinitz-Kannan, 1997). El manejo del parque se enfoca en los Valores Objeto de Conservación (VOC); entre ellos destacan las lagunas La Magdalena, Cusiyaco y San Rafael de gran importancia para la preservación ecológica.

Los páramos y ecosistemas altoandinos almacenan carbono y regulan el flujo de agua dulce, pero están amenazados por el cambio climático y la actividad humana (Keith *et al.*, 2013; Nagy *et al.*, 2023). En Colombia, el 45 % de los ecosistemas están en peligro (Etter *et al.*, 2017). Estudiar la ecología de estos ecosistemas es clave para mejorar el manejo de las áreas y su conservación.

La Convención Ramsar promueve la conservación de humedales (incluidas las lagunas) mediante una gestión colaborativa, involucrando a comunidades y autoridades locales para mitigar amenazas como la expansión agrícola y la presión turística (Llambí *et al.*, 2005; Iñiguez *et al.*, 2013).

El conocimiento sobre la efectividad de las medidas de manejo en ecosistemas de alta montaña es limitado; por ello, evaluar el estado ecológico de las lagunas andinas es crucial para optimizar estrategias de conservación (Rosselli y Stiles, 2012). Este estudio evalúa la biota y el estado de conservación de tres lagunas en el PNN Puracé, proporcionando información esencial para orientar acciones de manejo y conservación futuras.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El PNN Puracé se encuentra ubicado en el suroccidente colombiano, en la ecorregión Macizo Colombiano, entre los departamentos de Huila y Cauca. Su extensión total es de

91942 ha en altitudes comprendidas entre los 2350 y 4700 m s. n. m. El área protegida cuenta con amplias zonas de humedales y lagunas en las que nacen algunos de los principales ríos de Colombia (Magdalena, Cauca, Patía y Caquetá). Las lagunas de La Magdalena, Cusiyaco y San Rafael, están entre los 3000 a 3450 m s. n. m, en las zonas Sur y Norte del PNN Puracé en ecosistemas de páramo y bosque altoandino (Fig. 1, Tabla 1).

Estas lagunas son lugares sagrados para las comunidades indígenas Yanakonas y Kokonukos de la región. Históricamente, la vegetación circundante se ha degradado por el turismo y la ganadería. Actualmente, el acceso a las lagunas está restringido por Parques Nacionales y las comunidades indígenas, en donde únicamente se permiten actividades de investigación, monitoreo o rituales específicos con autorización de los cabildos. Aunque son atractivos turísticos, las visitas se limitan a miradores alejados de los espejos de agua, promoviendo su conservación.

Los grupos biológicos fueron muestreados entre febrero de 2021 (Laguna de La Magdalena y Cusiyaco) y agosto de 2023 (Laguna de San Rafael) por un equipo interdisciplinario de investigadores, con el permiso de acceso otorgado por los dos resguardos indígenas del territorio. Contaron con la aprobación del comité de bioética de la Fundación Universitaria de Popayán, el aval de investigación de Parques Nacionales Naturales y el “Permiso Marco de Recolección de Especímenes de Especies Silvestres de la Diversidad Biológica con Fines de Investigación Científica No Comercial” de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), según la Resolución No.º 01385 de 2021. La macrofauna se seleccionó como grupo focal por la disponibilidad de datos consistentes en las tres lagunas, lo que permitió comparaciones confiables. No se incluyó la fauna íctica ni la calidad del agua para asegurar la homogeneidad del análisis y enfocarse en bioindicadores con sensibilidad ecológica reconocida.

Anfibios

El equipo de campo realizó inspecciones mediante Inspección por Encuentros Visuales (VES) en recorridos diurnos y nocturnos durante dos campañas de muestreo: una en marzo de 2020 y otra en diciembre de 2021. Los horarios de muestreo se ajustaron según las condiciones climáticas, incluyendo sesiones adicionales entre las 14:00 y 18:00 horas. Durante las búsquedas, los individuos fueron capturados en bolsas plásticas individuales para prevenir la transmisión de patógenos. En cada caso se registró la hora, coordenadas geográficas, actividad observada y detalles del hábitat (Aguirre y Lampo, 2006). El análisis de los datos incluyó la revisión de registros y literatura científica, complementada con bases de datos relevantes

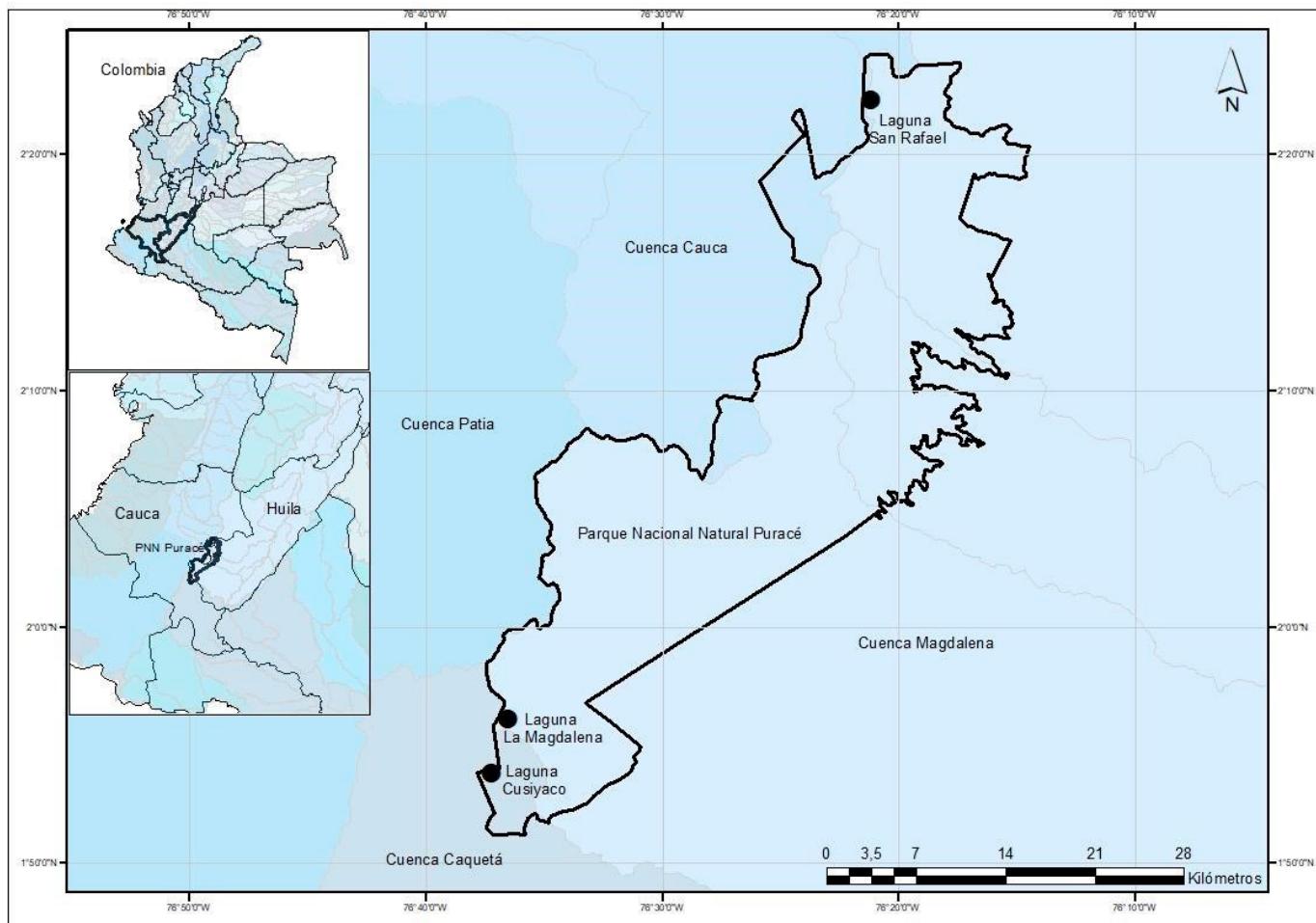


Figura 1. Localización de las lagunas de La Magdalena, Cusiyaco y San Rafael distribuidas en cada una de las cuencas hidrográficas presentes en el Parque Nacional Natural Puracé, Colombia.

de colecciones de anfibios en museos de historia natural nacionales e internacionales gestionados a través de GBIF (GBIF.org, 2024). Se elaboró un listado preliminar de los taxa detectados, evaluando su categoría de amenaza según la IUCN y su distribución geográfica y altitudinal, además de registrar observaciones auditivas para especies elusivas.

Aves acuáticas

Se realizaron ocho salidas de campo para muestrear los alrededores de los cuerpos de agua. En cada laguna, se registraron las aves presentes en los espejos de agua, orillas y zonas de vegetación emergente mediante observación directa con binoculares (Vortex Diamondback 8x42) y por vocalizaciones. Se tomaron fotografías de los individuos para obtener registros visuales y se utilizaron guías especializadas para identificar las especies, siguiendo la taxonomía de Remsen *et al.* (2024). Además, se consideraron las vocalizaciones para mejorar la identificación de las especies, revisando los cantos en la página oficial de Xeno-Canto (Website © 2005-2024 Xeno-canto Foundation).

Macroinvertebrados acuáticos

La toma de muestras se realizó siguiendo la metodología de multi hábitat de Elosegi y Sabater (2009), adaptada a los ecosistemas lagunares. En cada laguna, se estableció una zona de muestreo de 100 m lineales paralelos al borde de las lagunas, considerando acceso, disponibilidad de hábitats y facilidad de muestreo. Se recolectaron macroinvertebrados acuáticos de hábitats como macrófitas acuáticas, fango, arena, grava, rocas y algas. Las muestras se tomaron utilizando una red tipo D y una red Surber, abarcando 1 m² por arrastre (aproximadamente cuatro arrastres por sustrato disponible). Las muestras fueron almacenadas en frascos plásticos rotulados y fijadas con alcohol al 90 % para su transporte al laboratorio de ciencias naturales de la Fundación Universitaria de Popayán. En el laboratorio, los organismos fueron separados con estereoscopios y microscopios Nikon, e identificados hasta el menor nivel taxonómico posible con claves especializadas de Roldán Pérez (1996), Domínguez y Fernández (2009).

Plantas

La vegetación fue estudiada con metodologías diferentes para ecosistemas de páramo y bosque altoandino. En los fragmentos de bosque se censaron 0,1 hectáreas laguna mediante transectos de 50x2 m, es decir, diez transectos en cada laguna próxima a las lagunas (Villareal *et al.*, 2006). En el ecosistema de páramo se establecieron diez parcelas provisionales de 10x10 m, con un área total evaluada de 0,1ha. En ambos ecosistemas se realizó el inventario de los individuos con Circunferencia a la Altura del Pecho CAP \geq 10 cm que se encontraron dentro la unidad de muestreo, permitiendo evaluar la composición florística y su cobertura. Además, se tomaron datos de altura, coberturas, estado fitosanitario, fenología y hábito de crecimiento, en un formato previamente diseñado. Por último, se recolectaron muestras de las especies vegetales para su posterior determinación en el herbario.

Luego de tomar las fotografías y descripción correspondientes a cada individuo recolectado, se prensó en papel periódico y, en bolsas oscuras se mantuvo el material hasta su secado final en el horno. Después de 24 horas de secado, se realizaron los montajes de las muestras siguiendo los protocolos generales de herbario, y los excidados se

depositaron en los herbarios CAUP de la Universidad del Cauca y de la Fundación Universitaria de Popayán.

Se revisó el estado de amenaza de los taxa registradas en la laguna, de acuerdo con la Resolución 0126 del 6 de febrero de 2024, emitida por el Ministerio de Medio Ambiente (2024). Para evaluar la similaridad de la riqueza de taxa entre las tres lagunas se calculó el Índice de Jaccard utilizando el software Past Versión 4.17 (Hammer *et al.*, 2001).

RESULTADOS

En las lagunas de La Magdalena, Cusiyaco y San Rafael se reportan 266 taxa de anfibios (12), aves acuáticas (14), macroinvertebrados acuáticos (62) y plantas (178) (Fig. 2a). Las plantas constituyen el grupo biológico más representativo, con un total de 178 taxa registrados en los ecosistemas de páramo (137) y bosque altoandino (76) presentes en las tres lagunas, con varios taxa compartidos entre ambos ecosistemas. En cuanto a la riqueza por laguna, San Rafael presenta el mayor número de taxa (180), seguida de Cusiyaco (143) y La Magdalena (111), compartiendo también taxa entre ellas (Fig. 2a).

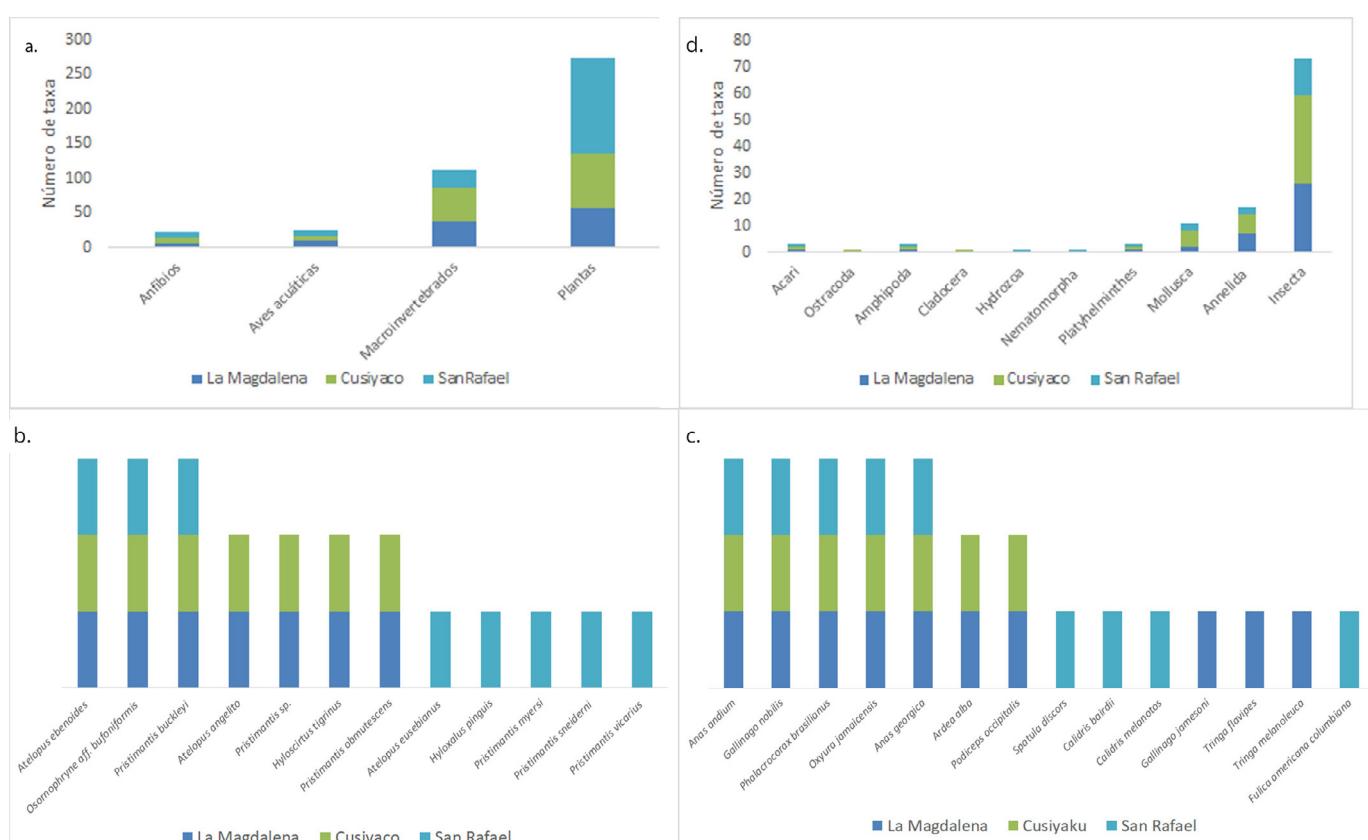


Figura 2. Biodiversidad de las lagunas del Parque Nacional Natural Puracé. (a) Riqueza de especies para los cuatro grupos biológicos estudiados. Presencia de anfibios (b), aves acuáticas (c), macroinvertebrados acuáticos (d) en las lagunas La Magdalena, Cusiyaco y San Rafael.

Anfibios

Este estudio reporta 12 taxa de anfibios pertenecientes a cinco familias en las lagunas de La Magdalena, Cusiyaco y San Rafael (Fig. 2b). Tres taxa se encontraron en las tres lagunas (*Atelopus ebenoides*, *Osornophryne aff. bufoniformis* y *Pristimantis buckleyi*). Las lagunas de La Magdalena y Cusiyaco comparten los taxa *Atelopus angelito*, *Pristimantis sp.*, *Hyloscirtus tigrinus*, y *Pristimantis obmutescens*, mientras que San Rafael presenta cinco taxa exclusivos (*Atelopus eusebianus*, *Hylohalus pinguis*, *Pristimantis myersi*, *Pristimantis sneiderni*, *Pristimantis vicarius*). Todas los taxa de anfibios registradas se distribuyen entre los 2500 y 4700 m s.n.m. De los 12 taxa, tres están en categoría de amenaza Crítica (*A. angelito*, *A. ebenoides*, *A. eusebianus*), dos en Peligro (*H. pinguis*, *H. tigrinus*) y una Casi Amenazada (*Pristimantis obmutescens*), lo que resalta su importancia para la conservación (Anexo 1).

Aves acuáticas

Este estudio registra 14 taxa de aves acuáticas pertenecientes a seis órdenes, seis familias y diez géneros asociadas a las lagunas de La Magdalena, Cusiyaco y San Rafael. Cinco taxa (*Anas andium*, *Anas georgica*, *Oxyura jamaicensis*, *Gallinago nobilis* y *Phalacrocorax brasiliensis*) son compartidas entre las tres lagunas. Los taxa *Podiceps occipitalis* y *Ardea alba* se reportan en las lagunas del Sur (Cusiyaco y La Magdalena), tres taxa son exclusivos de La Magdalena (*Gallinago jamesoni*, *Tringa flavipes* y *Tringa melanoleuca*) y cuatro taxa son exclusivos de San Rafael (*Spatula discors*, *Calidris bairdii*, *Calidris melanotos* y *Fulica americana*) (Fig. 2c). De los 14 taxa registradas, tres se encuentran con alguna categoría de amenaza: *A. georgica* en vulnerable, *O. jamaicensis* en peligro y *P. occipitalis* en estado Crítico (Anexo 1).

Macroinvertebrados acuáticos

Se encontraron 62 taxones de macroinvertebrados acuáticos distribuidos en 36 familias, 22 órdenes, 12 clases y seis phyla diferentes en las lagunas estudiadas. Del total

de géneros reportados, el 79 % se colectó en Cusiyaco, el 58 % en La Magdalena y el 39 % en San Rafael. Las poblaciones de esta última representaron solo un 32 % respecto a las observadas en La Magdalena y Cusiyaco; que compartieron el 50 % de su riqueza (Anexo 1). En estos ecosistemas, los grupos dominantes fueron insectos, anélidos, moluscos, platelmintos, ácaros y anfípodos, estos últimos predominantes en algunas lagunas (Fig. 2d).

El grupo de los insectos representó el 67 % del total de la riqueza colectada con 40 taxones, donde los dípteros fueron los más cosmopolitas dominando en las tres lagunas, seguido de los coleópteros (16 %) c (Anexo 1).

Dentro de los moluscos, la clase Gastropoda aportó el 6,4 % de la riqueza reportada con los taxones Lymnaeidae, *Pyrgophorus*, *Aroapyrgus* y *Biomphalaria* y los géneros *Pisidium* y *Sphaerium* de la clase bivalvia (Fig. 2d). Es importante resaltar la presencia en las lagunas de los géneros *Dugesia* (Tricladida, Dugesiidae), *Hydrozetes* (Oribatida, Hydrozetidae), *Hyalella* (Amphipoda, Hyalellidae) quienes fueron muy abundantes y cosmopolitas. Adicionalmente, se reportó la presencia del phylum Cnidaria con el género *Hydra* exclusivamente en la laguna San Rafael (Fig. 2d).

Plantas

En las tres lagunas estudiadas se reportan 178 taxones de plantas, 57 en la Magdalena, 79 en Cusiyaco y 138 en San Rafael (Ver anexo). De los taxa encontradas, 50 se encuentran en estado de Preocupación Menor según la lista roja de la IUCN (2023). En las tres lagunas dominan las hierbas en la composición del páramo y los arbustos en la composición del bosque altoandino (Fig. 3). En las tres lagunas se encontraron en total 49 familias. Asteraceae fue la familia con mayor riqueza, seguida de Ericaceae y Melastomataceae (Anexo 1).

En general, se encontró que las Lagunas de La Magdalena y Cusiyaco comparten más taxa comunes entre ellas que con la Laguna San Rafael, patrón que se repite para macroinvertebrados, anfibios, aves y plantas de páramo; sin

Tabla 1. Características de las lagunas La Magdalena, Cusiyaco y San Rafael en el Parque Nacional Natural Puracé.

Características	La Magdalena	Cusiyaco	San Rafael
Altitud	3450 m	3000 m	3300 m
Ubicación en el PNN Puracé	Sur 1°56'4.69"N 76°36'31.240	Sur 1°53'46.52"N 76°37'10.45"O	Norte 2°22'14,14"N 76°21'10,72"O
Sector /Municipio / Departamento	Alto Magdalena / San Agustín / Huila	Alto Caquetá /San Sebastián / Cauca	Alto Vedón / Puracé / Cauca
Cuenca hidrográfica	Magdalena	Caquetá	Magdalena
Nombre indígena	Yuma Cocha	Kusiyaku	Andulbio
Comunidad indígena	Pueblo Yanacona. Resguardo Papallaqta	Pueblo Yanacona. Resguardo Papallaqta	Pueblo Kokonuko. Resguardo Puracé
Observaciones	Ubicada en un valle abierto. Vegetación aledaña homogénea. Presencia principal de ecosistema de páramo.	Ubicada en un cañón. Vegetación aledaña heterogénea. Presencia de páramo y bosque alto andino.	Ubicada en un valle. Vegetación aledaña heterogénea. Presencia de páramo y bosque alto andino.

embargo, en el caso de la vegetación de bosque, Cusiyaco y San Rafael comparten mayor número de taxa entre sí que con La Magdalena (Fig. 4). La menor riqueza florística en La Magdalena podría explicar su baja similitud con las otras lagunas (Anexo 1).

DISCUSIÓN

El análisis de la biodiversidad en las lagunas de La Magdalena, Cusiyaco y San Rafael muestra una rica diversidad biológica con 266 taxa registrados, en las que se incluyen anfibios, aves acuáticas, macroinvertebrados acuáticos y plantas. Esto subraya la importancia de estas lagunas como hábitats esenciales. Este hallazgo es relevante, ya que los bosques montanos andinos, que albergan ecosistemas similares, han disminuido considerablemente en su cobertura original y se encuentran entre los menos estudiados. Además, la creciente población en los Andes aumenta las presiones sobre estos ecosistemas, como la deforestación, el cambio climático y las actividades agrícolas (Armenteras *et al.*, 2003).

La identificación de San Rafael como la laguna con mayor diversidad de taxa, seguida de Cusiyaco y La Magdalena, sugiere que podrían existir diferencias en las condiciones ambientales de estas lagunas. La mayor riqueza observada en San Rafael podría estar vinculada a factores como la presencia de una mayor variedad de hábitats y una elevada

heterogeneidad ambiental. La heterogeneidad del hábitat, que está directamente relacionada con la diversidad del paisaje, puede ser uno de los principales procesos que estructuran la riqueza en estos ecosistemas. Este patrón respalda la idea de que una posible mayor variabilidad en las condiciones ambientales favorece una mayor diversidad biológica, ya que distintos hábitats permitirían la coexistencia de diversas especies con diferentes requerimientos ecológicos (Londoño-Murcia *et al.*, 2010).

Anfibios

En las lagunas La Magdalena y Cusiyaco, *Pristimantis buckleyi* es abundante, mientras que *P. obmutescens*, encontrada solo en páramos con frailejón (*Espeletia sp.*), amplía su distribución unos 56 km al sur (Lynch y Suárez-Mayorga, 2002; Buitrago-González *et al.*, 2016). Se confirma la presencia de *Hyloscirtus tigrinus* en La Magdalena una década después de su primer registro (Montezuma y Mueses-Cisneros, 2009). Los taxa *Osornophryne aff. bufoniformis* y *Pristimantis* sp. necesitan mayor evidencia como colectas adicionales, análisis moleculares y registros bioacústicos, para confirmar su identificación. En Cusiyaco, no se encontró *H. tigrinus* ni *P. sp.*, sugiriendo una mayor riqueza en La Magdalena.

Entre las especies amenazadas, *Osornophryne aff. bufoniformis* y *H. tigrinus* fueron registradas en La Magdalena. Es necesario intensificar el muestreo, especialmente para

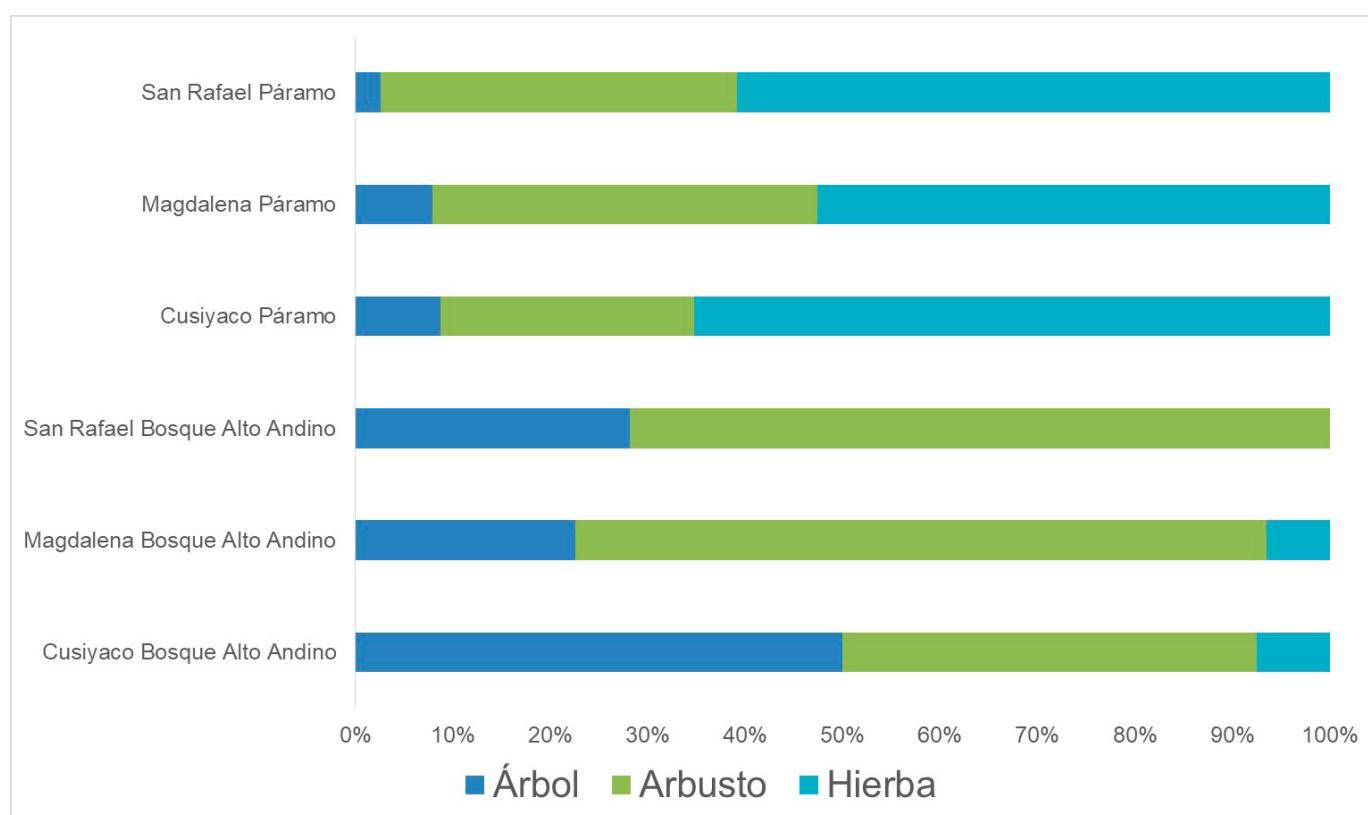


Figura 3. Composición de plantas por tipo de hábitat encontradas en las lagunas La Magdalena, Cusiyaco y San Rafael.

Atelopus. En la parte alta de La Magdalena, se detectó *Niceforonia aff. brunnea*, catalogada como En Peligro. También se reportó un individuo de *Pristimantis* sp., relacionado con *P. racemus*, especie endémica de la Cordillera Central (Buitrago-González *et al.*, 2016). Las abundancias de *H. tigrinus* no incluyen los registros auditivos, que sumaron al menos 40 individuos en la margen norte de La Magdalena.

Se sugiere que futuros estudios sobre la conservación de anfibios en páramos adopten un enfoque integral que incluya la conectividad hidrológica, la preservación ecológica y el involucramiento comunitario. Las estrategias deben considerar las necesidades específicas de hábitat y el monitoreo continuo para ajustar las medidas de conservación. Además, es clave fomentar la educación ambiental para aumentar la conciencia local sobre la preservación de estos ecosistemas y sus especies (Watson y Castillo, 2022).

Aves acuáticas

Colombia registra 1969 especies de aves confirmadas (Echeverry-Galvis *et al.*, 2022), de las cuales 275 corresponden a especies migratorias (Naranjo *et al.*, 2012), 83 son endémicas (Chaparro-Herrera *et al.*, 2024) y 280 están asociadas a ecosistemas acuáticos. Dentro de este grupo, el 8 % de las especies se encuentran en alguna categoría de amenaza a nivel nacional y el 6 % a nivel global

(Ruiz-Guerra y Cifuentes-Sarmiento, 2021). Asimismo, el 61 % de las especies acuáticas registradas en el país son migratorias, el 13 % corresponde a especies errantes, el 7,5 % a especies consideradas hipotéticas y el 18,5 % restante a especies residentes (Ruiz-Guerra y Cifuentes-Sarmiento, 2021). Teniendo en cuenta lo anterior, la diversidad de aves registrada en las lagunas de La Magdalena, Cusiyaco y San Rafael representa el 5 % de las especies acuáticas registradas para Colombia (Echeverry-Galvis *et al.*, 2022). Estos registros son valiosos para comprender la ecología de estos ecosistemas, ya que, aunque las especies no están presentes en grandescantidades, incluyen especies y subespecies amenazadas y de distribución restringida (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2024).

Entre las especies amenazadas se encuentran *A. georgica* (VU), *O. jamaicensis* (EN) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2024), la subespecie *Podiceps occipitalis juninensis* (CR) a nivel nacional (Renjifo *et al.*, 2016; Ocampo-G. *et al.*, 2022; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2024), y *G. nobilis* (NT) a nivel global (BirdLife International, 2016). La presencia de *P. o. juninensis* y reproducción registrada en la laguna de La Magdalena subraya la necesidad de una gestión cuidadosa de estos hábitats, al igual que las especies *A. georgica* y *O. jamaicensis*, clave en los humedales altoandinos (Ayerbe-Quiñones *et al.*, 2016; Rosselli y Benítez-Castañeda, 2016). *S. discors* se reporta como muy común en lagos de

Diagramas de Jaccard poblaciones biológicas de las lagunas

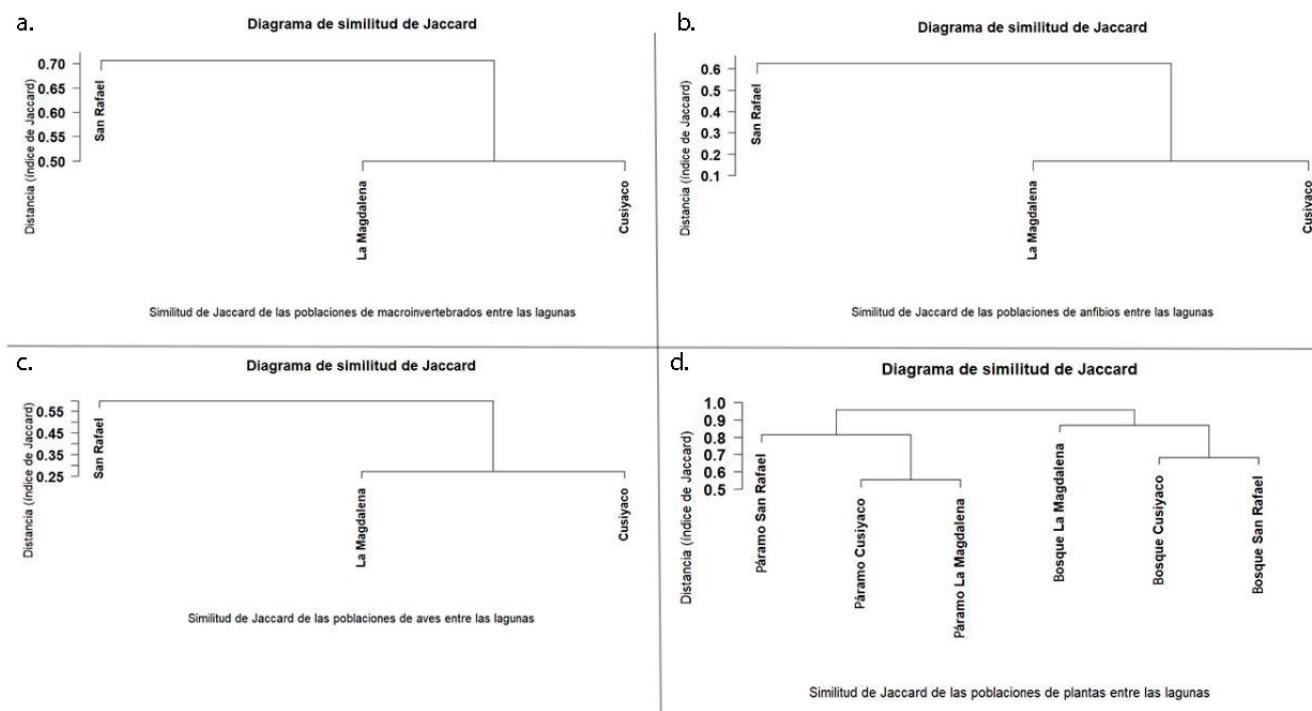


Figura 4. Similitud de Jaccard por comunidad estudiada en las lagunas La Magdalena, Cusiyaco y San Rafael: (a) macroinvertebrados, (b) anfibios, (c) aves y (d) plantas.

páramo (Arias-Sosa *et al.*, 2021). Los taxa amenazados están presentes en las tres lagunas estudiadas, lo que resalta la importancia de conservar este sistema lagunar del PNN Puracé. La protección integral del ecosistema es crucial para preservar la diversidad genética intraespecífica y garantizar la estabilidad y resiliencia de estos taxa frente a amenazas actuales y futuras.

La presencia de cinco taxa compartidos entre las tres lagunas indica posibles similitudes en las condiciones ambientales y la disponibilidad de recursos. Sin embargo, se observa mayor similitud entre las lagunas La Magdalena y Cusiyaco, evidente en los grupos de anfibios y macroinvertebrados. Esto podría explicarse por su proximidad geográfica y características ambientales comunes que favorecen la presencia de estos grupos biológicos en el PNN Puracé.

La densidad y abundancia de aves acuáticas dependen de la disponibilidad de aguas abiertas en los ecosistemas (Brisbin y Mowbray, 2002; Brua, 2002). Se debe prestar atención a la acumulación de sedimentos, crecimiento de macrófitas y cambio climático, lo que podría afectar a especies que dependen de estas áreas, como *O. jamaicensis* y *Fulica americana columbiana* (Rosselli y Stiles, 2012). Se recomienda realizar estudios de batimetría y análisis geográficos para evaluar la distancia entre lagunas, la profundidad y el tamaño de los cuerpos de agua, ya que la morfología de los lagos es clave para su conservación (Adeogun y Chukwuka, 2023).

La presencia de aves piscívoras en los lagos puede aumentar a causa de la introducción de especies exóticas de peces (Guevara *et al.*, 2012). Es posible que la presencia de *Ardea alba* en las lagunas del PNN Puracé, donde se registra la presencia de truchas como especie introducida, se deba a que esta ave piscívora se alimenta de dichos peces exóticos (Alexiades *et al.*, 2022).

Este estudio destaca la importancia de conservar las lagunas como áreas clave para la biodiversidad de aves, lo que requiere medidas como manejo de hábitat, regulación de actividades humanas y sensibilización sobre su conservación (Arzuza *et al.*, 2008). La degradación del páramo por actividades humanas afecta la diversidad y estructura de la comunidad aviar (Arias-Sosa *et al.*, 2021). Por ello, es crucial mantener la protección de los ecosistemas de páramo y las lagunas del PNN Puracé de amenazas antropogénicas que pongan en riesgo su biodiversidad.

Macroinvertebrados acuáticos

La comunidad de macroinvertebrados acuáticos es clave para comprender la ecología y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, ya que su relación con el medio permite utilizarlos como indicadores de salud ambiental (Domínguez *et al.*, 2020). Aunque se colectó una comunidad biodiversa, la limitada variedad de microhábitats y la dominancia de sustratos inestables

como fango, lodo, materia orgánica en descomposición y asociaciones de algas y macrófitas sumergidas, favorecen la colonización de organismos tolerantes como Dípteros, Oligoquetos e Hirudíneos (Gómez *et al.*, 2016), condición común en lagos altoandinos (Alba-Hincapié *et al.*, 2016; Coayla-Peñaiza *et al.*, 2023). Se destaca la presencia del género *Hydra* (Hydrozoa-Cnidaria) y del ácaro Hydrozetidae (Hydrozetidae-Acari) a más de 3000 m s. n. m. lo que podría representar un nuevo registro de distribución en Colombia, ya que no se han publicado estudios taxonómicos del grupo en altitud (Córbita-Heredia, 2013).

En las lagunas estudiadas predominaron organismos indicadores de contaminación orgánica, como Chironomidae, Tubificidae y Glossiphoniidae. Sin embargo, la presencia de familias sensibles como Hydroptilidae (Trichoptera), Baetidae (Ephemeroptera), Dytiscidae (Coleoptera) y Hydrozetidae (Acari) sugiere una buena calidad ecológica del agua, sin fuertes signos de contaminación orgánica, lo que favorece el desarrollo de cadenas tróficas complejas (Orozco-González y Ocasio-Torres, 2023).

Plantas

La riqueza de especies en las lagunas del PNN Puracé es similar a la reportada para otros páramos y bosques altoandinos, pero inferior a la del complejo Cruz Verde-Sumapaz (Londoño *et al.*, 2014). Las familias Asteraceae, Ericaceae y Melastomataceae dominan, un patrón común en estos ecosistemas (Cuello Salinas y Galvis Rueda, 2020). El cambio en el uso del suelo reduce la vegetación nativa, afectando la regulación hídrica y los servicios ecosistémicos (Matovelle, 2021). Las plantas herbáceas predominan en el páramo, mientras que los arbustos dominan el bosque altoandino, reflejando la estratificación vertical típica asociada al gradiente climático altitudinal (Gil-Leguizamón *et al.*, 2020; Agudelo *et al.*, 2023).

Los páramos son vulnerables al cambio climático, con una posible reducción de su área y limitadas opciones de migración (Cuesta *et al.*, 2023). Su biodiversidad es clave para conservar los servicios ecosistémicos como la regulación hídrica y captura de carbono (Tovar *et al.*, 2013). El Macizo Colombiano, fuente de importantes cuencas, requiere protección de sus lagunas para asegurar la integridad de los sistemas fluviales, mediante estrategias que incluyan protección legal específica para la biodiversidad acuática, manejo activo orientado a la restauración y conservación de hábitats, acciones que mantengan la conectividad ecológica y la participación comunitaria en la gestión sostenible de estos ecosistemas (Tognelli *et al.*, 2018). Las estrategias de conservación en el PNN Puracé se centran en la participación comunitaria y la conexión de ecosistemas acuáticos (Watson y Castillo, 2022).

El monitoreo de los ecosistemas andinos es esencial, empleando protocolos unificados que integren información socioecológica sistemática con indicadores alternativos para

cubrir vacíos geográficos (por ejemplo, datos derivados de sensores remotos) y enfoques de modelación, y desarrollando estos procesos de forma colaborativa con las comunidades locales (Mathez-Stiefel *et al.*, 2017; Carilla *et al.*, 2023).

CONCLUSIONES

La heterogeneidad ambiental entre las lagunas del PNN Puracé actúa como el principal factor estructurante de las comunidades biológicas, validando la hipótesis de que una mayor diversidad de microhabitats favorece la coexistencia de especies con diferentes requerimientos ecológicos. La diferenciación taxonómica observada entre las lagunas refleja procesos ecológicos complejos que incluyen la conectividad hidrológica, la disponibilidad de recursos y las condiciones ambientales específicas de cada sistema acuático. Esta variabilidad en la composición de especies subraya la importancia de conservar no solo lagunas individuales, sino el conjunto completo del sistema lagunar como una unidad ecológica funcional.

El sistema lagunar del PNN Puracé constituye un refugio para la biodiversidad altoandina amenazada, lo que lo convierte en un área de alta prioridad para la conservación en el contexto de los ecosistemas montanos andinos que han perdido gran parte de su cobertura original. La concentración de especies amenazadas en estos ecosistemas acuáticos evidencia su papel fundamental como hábitats que mantienen poblaciones viables de especies vulnerables al cambio climático y las presiones antropogénicas.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro agradecimiento al personal del Parque Nacional Natural Puracé –Isaac Bedoya, Doris Rojas, Fáber Jiménez, Gustavo Papamija, Karen Matabanchoy, Carlos Becerra y Óscar Meneses– por su valioso apoyo durante el trabajo de campo. Agradecemos también a las comunidades indígenas de Papallaqta y Puracé por su colaboración en el desarrollo de esta investigación. Extendemos nuestro reconocimiento a la Fundación Universitaria de Popayán, al grupo de investigación UNIET, al SENA Regional Cauca, al grupo de Estudios en Geología, Ecología y Conservación (GECO), al Semillero de Investigación en Geología, Ecología y Conservación (ASIO) y al Museo de Historia Natural de la Universidad del Cauca por el apoyo en las salidas de campo y su respaldo a través del proyecto “Línea base ambiental para determinar el estado ecológico de dos ecosistemas líticos valor objeto de conservación del PNN Puracé”, el cual cuenta con aval de Parques Nacionales Naturales bajo el código de investigación 2020200000309.

PARTICIPACIÓN DE AUTORES

N.E.I.E.: Conceptualización, Investigación, Curación de datos, Análisis formal, Redacción – borrador original – revisión y edición, Aprobación de la versión final; G.A.P.F.: Conceptualización, Investigación, Curación de datos, Análisis formal, Redacción – borrador original – revisión y edición, Aprobación de la versión final; D.V.O.-G.: Investigación, Curación de datos, Análisis formal, Redacción – borrador original – revisión y edición, Aprobación de la versión final; C.S.M.-N.: Conceptualización, Investigación, Redacción – borrador original – revisión y edición, Aprobación de la versión final; D.F.: Conceptualización, Investigación, Curación de datos, Análisis formal, Redacción – borrador original – revisión y edición, Aprobación de la versión final; J.N.P.-B.; L.M.M.-B.; C.C.; J.M.B.M.; E.M.N.M.: Investigación, Curación de datos, Análisis formal, Aprobación de la versión final.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores manifiestan que no poseen conflictos de interés financieros ni vínculos personales que hayan influido en el desarrollo o los resultados del trabajo presentado en este artículo.

REFERENCIAS

- Adeogun, A. O., & Chukwuka, A. V. (2023). Anthropogenic impacts as determinants of tropical lake morphology: Inferences for strategic conservation of lake wetland biodiversity. En *Science of lakes - Multidisciplinary approach* (capítulo de libro). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.112274>
- Agudelo, V. C., Sanín, M. J. y Tuberquia, D. (2023). Transición bosque altoandino – páramo: composición, estructura y fisonomía de la vegetación en la Cordillera Central de Colombia. *Caldasia*, 45(1), 174-186. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v45n1.102305>
- Aguirre, A. y Lampo, M. (2006). Protocolo de bioseguridad y cuarentena para prevenir la transmisión de enfermedades en anfibios. En *Técnicas de inventario y monitoreo para los anfibios de la región tropical andina* (pp. 73-92). Conservación Internacional.
- Alba-Hincapié, Á. M., González-Rey, G. y Longo, M. (2016). Macroinvertebrados asociados a macrófitas en la laguna La Virginia, páramo Sumapaz, Colombia. *Biota Colombiana*, 17(2), 3-19. <https://doi.org/10.21068/c2016v17s02a01>
- Alexiades, A. V., González-Gamboa, I. and Herrera-Martínez, Y. (2022). *Oncorhynchus mykiss* alters nutrient dynamics in high-altitude headwater streams in Boyacá, Colombia through displacement of the native fish community. *Environmental Challenges*, 9, 100628. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100628>

- Arias-Sosa, L. A., Salamanca-Reyes, J. and Ramos-Montaña, C. (2021). The role of different natural and human-related habitats for the conservation of birds in a high Andean Lake. *Wetlands Ecology and Management*, 29, 897-913. <https://doi.org/10.1007/s11273-021-09819-3>
- Armenteras, D., Gast, F. y Villareal, H. (2003). Andean forest fragmentation and the representativeness of protected natural areas in the eastern Andes, Colombia. *Biological Conservation*, 113(2), 245-256. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00359-2](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00359-2)
- Arzuza, D. E., Moreno, M. I. y Salaman, P. (2008). Conservación de las aves acuáticas en Colombia. *Conservación Colombiana*, 6, 1-72.
- Ayerbe-Quiñones, F., Pulgarín-Restrepo, P. C. y Estela, F. A. (2016). *Podiceps occipitalis*. In L. M. Renjifo, A. M. Amaya-Villarreal, J. Burbano-Girón, y J. Velásquez-Tibatá (Eds.), *Libro Rojo de Aves de Colombia. Vol. II: Ecosistemas Abiertos, Secos, Insulares, Acuáticos Continentales, Marinos, Tierras Altas del Darién y Sierra Nevada de Santa Marta y Bosques Húmedos del Centro, Norte y Oriente del País*. Editorial Pontificia Universidad Javeriana e Instituto Alexander von Humboldt.
- BirdLife International. (2016). *Gallinago nobilis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T22693118A93384670. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22693118A93384670.en>
- Brisbin, I. L., Jr. and Mowbray, T. B. (2002). American Coot (*Fulica americana*). In A. Poole (Ed.), *The Birds of North America Online*. Cornell Lab of Ornithology. <https://doi.org/10.2173/bna.697a>
- Brua, R. B. (2002). Ruddy Duck (*Oxyura jamaicensis*). En A. Poole (Ed.), *The Birds of North America Online*. Cornell Lab of Ornithology. <https://doi.org/10.2173/bna.696>
- Buitrago-González, W., López-Guzmán, J. H. y Vargas-Salinas, F. (2016). Anuros en los complejos paramunos los Nevados, Chilí-Barragán y las Hermosas, Andes Centrales de Colombia. *Biota Colombiana*, 17, 52-76. <https://doi.org/10.21068/c2016v17s02a04>
- Carilla, J., Aráoz, E., Acosta, O. O., Malizia, A., Malizia, M., Jimenez, Y., Peralvo, M., Garces, A., Lasso, G. and Lambí, L. D. (2023). Long-Term Environmental and Social Monitoring in the Andes: State of the Art, Knowledge Gaps, and Priorities for an Integrated Agenda. *Mountain Research and Development*, 43(2), A1-A9. <https://doi.org/10.1659/mrd.2022.00018>
- Chaparro-Herrera, S., Acevedo-Charry, O., Ocampo, D., Echeverry-Galvis, M. et al. (2024). Atlas de la biodiversidad de Colombia. Aves Endémicas. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C., Colombia. 100 pp.
- Coayla-Peñaloza, P., Cheneaux-Díaz, A. A., Moreno-Salazar, C. V., Cruz-Remache, C. E., Colque-Rondón, E. W. and Damborenea, C. (2023). Benthic macroinvertebrate communities and water quality assessment in high Andean wetlands Callali-Oscollo, Arequipa-Cusco, Peru. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 94, e944206. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2023.94.4206>
- Cómbita-Heredia, J. O. (2013). Ácaros acuáticos (Acari: Hydrachnidiae) de Colombia [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia Bogotá, Colombia.
- Cuello Salinas, M. J. y Galvis Rueda, M. (2020). Diversidad y composición de plantas vasculares en humedales del páramo Rabanal, Boyacá-Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 11(2), 131-146. <https://doi.org/10.22490/21456453.4351>
- Cuesta, F., Carilla, J., Llambí, L. D., Muriel, P., Lencinas, M. V., Meneses, R. I., Feeley, K. J., Pauli, H., Aguirre, N., Beck, S., Bernardi, A., Cuello, S., Duchicela, S. A., Eguiguren, P., Gamez, L. E., Halloy, S., Hudson, L., Jaramillo, R., Peri, P. L., Ramírez, L. A., Rosero-Añazco, P., Thompson, N., Yager, K. and Tovar, C. (2023). Compositional shifts of alpine plant communities across the high Andes. *Global Ecology and Biogeography*, 32(9): 1591-1606. <https://doi.org/10.1111/geb.13721>
- Domínguez, E., Giorgi, A. y Gómez, N. (Eds.). (2020). *La bioindicación en el monitoreo y evaluación de los sistemas fluviales de la Argentina. Bases para el análisis de la integridad ecológica*. Instituto de Limnología “Dr. Raúl A. Ringuelet”, Revista Biología Acuática, (36).
- Dominguez, E. y Fernández H. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y Biología. Tucumán: Fundación Miguel Lillo.
- Echeverry-Galvis, M. A., Acevedo-Charry, O., Avendaño, J. E., Gómez, C., Stiles, F. G., Estela, F. A. y Cuervo, A. M. (2022). Lista oficial de las aves de Colombia 2022: Adiciones, cambios taxonómicos y actualizaciones de estado. *Ornitología Colombiana*, 22, 25-51. <https://doi.org/10.59517/oc.e548>
- Elosegi, A. y Sabater, S. (2009). La biota acuática. En *Los Invertebrados* (pp. 243-250). Fundación BBVA.
- Etter, A., Villa, L. A., Rodríguez, J. P. and Keith, D. A. (2017). *Risk assessment of Colombian continental ecosystems: An application of the Red List of Ecosystems methodology (v. 2.0)*. <https://iucnrlc.org/blog/colombia-red-list-of-ecosystems-version-2.0/>
- GBIF.org (2024). GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.9hpbrb> [Accessed on 04 September 2024].
- Gil-Leguizamón, P. A., Morales-Puentes, M. E. y Jácome, J. (2020). Estructura del bosque altoandino y páramo en el Macizo de Bijagual, Boyacá, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 68(3), 765-776. <https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v68i3.34912>

- Gómez, S., Salazar, C. y Longo, M. (2016). Diversidad y biomasa de macroinvertebrados asociados a cuatro tipos de sustratos en la laguna La Virginia, páramo Sumapaz, Colombia. *Biota Colombiana*, 17(2), 20-38. <https://doi.org/10.21068/c2016v17s02a02>
- Guevara, E. A., Santander, T. and Duivenvoorden, J. F. (2012). Seasonal patterns in aquatic bird counts at five Andean lakes of Ecuador. *Waterbirds*, 35(4), 636-641. <https://doi.org/10.1675/063.035.0413>
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T. and Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 9 pp.
- Iñiguez, M. V. I., Helsley, J., Pinel, S., Ammon, J., Rodríguez, F. V. L. and Wendland, K. (2013). Collaborative Community-based Governance in a Transboundary Wetland System in the Ecuadorian Andes: Opportunities and Challenges at a Proposed Ramsar Site. *Mountain Research and Development*, 33(3), 269-279. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-12-00120.1>
- Keith, D. A., Rodríguez, J. P., Rodríguez-Clark, K. M., Nicholson, E., Aapala, K., Alonso, A., Asmussen, M., Bachman, S., Basset, A., Barrow, E. G., Benson, J. S., Bishop, M. J., Bonifacio, R., Brooks, T. M., Burgman, M. A., Comer, P., Comín, F. A., Essl, F., Faber-Langendoen, D., Fairweather, P. G., Holdaway, R. J., Jennings, M., Kingsford, R. T., Lester, R. E., Mac Nally, R., McCarthy, M. A., Moat, J., Oliveira-Miranda, M. A., Pisanu, P., Poulin, B., Regan, T. J., Riecken, U., Spalding, M. D. and Zambrano-Martínez, S. (2013). Scientific foundations for an IUCN red list of ecosystems. *PLoS One*, 8(5), e62111. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062111>
- Llambí, L. D., Smith, J. K., Pereira, N., Pereira, A. C., Valero, F., Monasterio, M. and Dávila, M. V. (2005). Participatory planning for biodiversity conservation in the high tropical Andes: Are farmers interested? *Mountain Research and Development*, 25(3), 200-205. [https://doi.org/10.1659/0276-4741\(2005\)025\[0200:PPFBCI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1659/0276-4741(2005)025[0200:PPFBCI]2.0.CO;2)
- Londoño, C., Cleef, A. y Madriñán, S. (2014). Angiosperm flora and biogeography of the páramo region of Colombia, Northern Andes. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 209(2), 81-87. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2013.11.006>
- Londoño-Murcia, M. C., Tellez-Valdés, O. and Sánchez-Cordero, V. (2010). Environmental heterogeneity of World Wildlife Fund for Nature ecoregions and implications for conservation in Neotropical biodiversity hotspots. *Environmental Conservation*, 37(2), 116-127. <https://doi.org/10.1017/S0376892910000391>
- Lynch, J. D. y Suárez-Mayorga, A. (2002). Análisis biogeográfico de los anfibios paramunos. *Caldasia*, 24, 471-480. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/39427>
- Mathez-Stiefel, S.-L., Peralvo, M., Báez, S., Rist, S., Buytaert, W., Cuesta, F., Fadrique, B., Feeley, K. J., Groth, A. A. P., Homeier, J., Llambí, L. D., Locatelli, B., López Sandoval, M. F., Malizia, A. and Young, K. R. (2017). Research priorities for the conservation and sustainable governance of Andean forest landscapes. *Mountain Research and Development*, 37(3), 323-339. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-16-00093.1>
- Matovelle, C. (2021). Páramo to Pasture Conversion in a Mountain Watershed: Effects on Water Quality and Quantity. *Mountain Research and Development*, 41(4), R74-R81. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-21-00026.1>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2024). *Resolución 0126 del 6 de febrero de 2024*. “Por la cual se establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera, se actualiza el comité coordinador de categorización de las especies silvestres amenazadas en el territorio nacional y se dictan otras disposiciones”. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2024/02/Resolucion-0126-de-2024.pdf>
- Montezuma, M. F. y Mueses-Cisneros, J. J. (2009). Amphibia, Anura, Hylidae, *Hyloscirtus tigrinus*: Distribution extension, first department record, Cauca and Huila, Colombia. *Check List. Journal of Species Lists and Distribution*, 5(2), 243-245. <https://doi.org/10.15560/5.2.243>
- Nagy, L., Eller, C. B., Mercado, L. M., Cuesta, F. X., Llambí, L. D., Buscando, E., Aragão, L. E. O. C., García-Núñez, C., Oliveira, R. S., Barbosa, M., Ceballos, S. J., Calderón-Loor, M., Fernandes, G. F., Aráoz, E., Muñoz, A. M. Q., Rozzi, R., Aguirre, F., Álvarez-Dávila, E., Salinas, N. and Sitch, S. (2023). South American mountain ecosystems and global change: A case study for integrating theory and field observations for land surface modelling and ecosystem dynamics. *Plant Ecology & Diversity*, 16(1-2). <https://doi.org/10.1080/17550874.2023.2196966>
- Naranjo, L. G., Amaya, J. D., Eusse-González, D. y Cifuentes-Sarmiento, Y. (Editores). (2012). Guía de las Especies Migratorias de la Biodiversidad en Colombia. Aves. Vol. 1. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible / WWF Colombia. Bogotá, D.C. Colombia. 708 p.
- Ocampo-G, D. V., Pisso-Florez, G. A., Muñoz-Nates, C. S., Angulo-Ortiz, D., Matabanchoy-C, K., Ibagón, N. y Gómez, L. G. (2022). Observaciones sobre apareamiento y anidación del Zambullidor plateado (*Podiceps occipitalis juninensis*) en el Parque Nacional Natural Puracé - Colombia. *Ornitología Colombiana*, 22, 70-75. <https://doi.org/10.59517/oc.e552>

- Orozco-González, C. E. y Ocasio-Torres, M. E. (2023). Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua: Estudio de un servicio de regulación ecosistémica en un río tropical. *Ecologías*, 4(2): 209-228. <https://doi.org/10.3390/ecologies4020015>
- Remsen, J. V., Jr., Cadena, C. D., Jaramillo, A., Nores, M., Pacheco, J. F., Robbins, M. B., Schulenberg, T. S., Stiles, F. G., Stotz, D. F. and Zimmer, K. J. (2024). *A Classification of the Bird Species of South America*. American Ornithologists Union. <https://www.museum.lsu.edu/~Remsen/SACCWordFiles/SACCBaseline01.html>
- Renjifo, L. M., Amaya-Villarreal, A. M., Burbano-Girón, J. y Velásquez-Tibatá, J. (2016). *Libro Rojo de Aves de Colombia. Vol. II: Ecosistemas Abiertos, Secos, Insulares, Acuáticos Continentales, Marinos, Tierras Altas del Darién y Sierra Nevada de Santa Marta y Bosques Húmedos del Centro, Norte y Oriente del País*. Editorial Pontificia Universidad Javeriana e Instituto Alexander von Humboldt.
- Roldán Pérez, G. (1996). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Editorial Universidad de Antioquia.
- Rosselli, L. y Benítez-Castañeda, H. D. (2016). *Oxyura jamaicensis*. En L. M. Renjifo, A. M. Amaya-Villarreal, J. Burbano-Girón, y J. Velásquez-Tibatá (Eds.), *Libro Rojo de Aves de Colombia. Vol. II: Ecosistemas Abiertos, Secos, Insulares, Acuáticos Continentales, Marinos, Tierras Altas del Darién y Sierra Nevada de Santa Marta y Bosques Húmedos del Centro, Norte y Oriente del País*. Editorial Pontificia Universidad Javeriana e Instituto Alexander von Humboldt.
- Rosselli, L. y Stiles, G. (2012). Local and Landscape Environmental Factors are Important for the Conservation of Endangered Wetland Birds in a High Andean Plateau. *Waterbirds*, 35(3), 453-469. <https://doi.org/10.1675/063.035.0310>
- Ruiz-Guerra, C. y Cifuentes-Sarmiento. (2021). *Aves Acuáticas de Colombia*. Asociación Calidris. ISBN: 978-958-56600-6-9.
- Schallenberg, M., de Winton, M. D., Verburg, P., Kelly, D. J., Hamill, K. D. and Hamilton, D. P. (2013). Ecosystem services of lakes. En J. R. Dymond (Ed.), *Ecosystem services in New Zealand: Conditions and trends* (pp. 203-225). Manaaki Whenua Press.
- Steinitz-Kannan, M. (1997). The Lakes in Andean Protected Areas of Ecuador. *The George Wright Forum*, 14(3), 33-43.
- Szabó, Z., Buczkó, K., Haliuc, A., Pál, I., Korponai, J. L., Begy, R.-C., Veres, D., Luoto, T. P., Zsigmond, A. R. and Magyari, E. K. (2020). Ecosystem shift of a mountain lake under climate and human pressure: A move out from the safe operating space. *Science of The Total Environment*, 743, 140584. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140584>
- Tognelli, M. F., Anderson, E. P., Jiménez-Segura, L. F., Chuctaya, J., Chocano, L., Maldonado-Ocampo, J. A., Mesa-Salazar, L., Mojica, J. I., Carvajal-Vallejos, F. M., Correa, V., Ortega, H., Rivadeneira Romero, J. F., Sánchez-Duarte, P., Cox, N. A., Hidalgo, M., Jiménez Prado, P., Lasso, C. A., Sarmiento, J., Velásquez, M. A. and Villa-Navarro, F. A. (2018). Assessing conservation priorities of endemic freshwater fishes in the Tropical Andes region. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 28(4), 1-10. <https://doi.org/10.1002/aqc.2971>
- Tovar, C., Arnillas, C. A., Cuesta, F. and Buytaert, W. (2013). Diverging Responses of Tropical Andean Biomes under Future Climate Conditions. *PLoS ONE*, 8(5), e63634. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063634>
- IUCN. (2023). *The IUCN Red List of Threatened Species*. Version 2023-1. <https://www.iucnredlist.org>
- Villareal, H., Álvarez, S., Córdoba, F., Escobar, G., Fagua, F., Gast, H., Mendoza, M. y Ospina, A. (2006). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad* (Segunda edición). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Watson, A. S. y Castillo, L. (2022). Are protected areas working for endangered frogs in the Peruvian Andes? *Biodiversity and Conservation*, 31, 1847-1866. <https://doi.org/10.1007/s10531-022-02406-9>
- Xeno-Canto. (2024). *Compartiendo Cantos de Aves de Todo el Mundo*. (Website © 2005-2024 Xeno-canto Foundation). xeno-canto.org/