Estudio de la diversidad, composición y estructura de los macroinvertebrados acuáticos asociados al complejo de páramos Santurbán-Almorzadero (Santander, Colombia)

Mónica Lizeth Rey Celis

Trabajo de grado presentado para optar al título de Bióloga

Director
Edwin Orlando López Delgado
Doctor en Ciencias de la vida silvestre y pesquera

Codirectora
Diana Marcela Sánchez Lobo
Bióloga

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ciencias
Escuela de Biología
Bucaramanga
2025

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a cada una de las personas que hicieron parte de mi proceso académico a lo largo de todos estos años. A Dilan, que me inspiró, me motivó y me acompañó en este complejo proceso, siempre siendo compresivo, amoroso, y dando lo mejor de sí para apoyarme. A Diana que no dudó en darme una nueva oportunidad y ser una gran amiga todos estos años de aprendizaje. A mi madre, que nunca dejó de creer que esto sería posible y siempre estuvo ahí para mí a pesar de que estuve a punto de rendirme. Gracias a mis hermanas, Alicia y Carla, por siempre ser un gran ejemplo de perseverancia y valentía. A Silvia, que me inspira a ser mejor cada día y siempre cuida de mí. A Greicy, Bárbara, Daniela y Juliana por escucharme y animarme siempre que creo que algo no es posible. A cada uno de mis amigos y profesores, los cuales fueron una maravillosa compañía y un gran apoyo para poder llegar hasta aquí.

Agradecimientos

Gracias a Dilan por el soporte que fue para mí siempre en este largo aprendizaje. Gracias a mi mamá y a mis hermanas por estar conmigo en todo momento.

Gracias a la escuela de Biología, al Grupo de Estudios en Biodiversidad (GEBIO), al Semillero de Ictiología y al Laboratorio de Hidrobiología de la Universidad Industrial de Santander, por permitirme ser parte de este gran equipo. Agradezco infinitamente al profesor Edwin Orlando López Delgado y a la profesora Diana Marcela Sánchez Lobo, por darme la oportunidad de cumplir esta meta perseguida por tantos años y por poder aprender de ellos.

Tabla de Contenido

Pág.

Introducción 10
1. Objetivos 12
1.1 Objetivo General 12
1.2 Objetivos Específicos 12
2. Competencias que desarrollará el pasante 13
3. Metodología 14
3.1 Área de estudio 14
3.2 Fase de campo 14
3.3 Fase de laboratorio 15
3.4 Análisis de datos 17
3.4.1 Análisis taxonómico 17
3.4.2 Análisis de diversidad Alfa 18
3.4.3 Análisis de diversidad Beta 18
4. Resultados 19
4.1 Análisis taxonómico 19
4.2 Diversidad Alfa 26
4.3 Diversidad Beta 28
5. Discusión 31
6. Conclusiones 36
Referencias bibliográficas 37
Apéndices 49

Lista de Tablas

Pág.

Tabla 1. Composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en el complejo de páramo Santurbán-Almorzadero. 21

Lista de Figuras

Pág.

Figura 1 Mapa de ubicación y puntos de muestreo dentro del complejo de páramo Santurbán-Almorzadero 16

Figura 2. Algunas lagunas del complejo de páramo Santurbán-Almorzadero: a. Larga; b. Barrosa; c. Pintada; d. Plan; e. Monsalve; f. Alto. 17

Figura 3. Algunos taxa de macroinvertebrados acuáticos del complejo de páramo Santurbán-Almorzadero: a. Tanypodinae; b. Corixidae; c. Dytiscidae; d. *Helobdella* sp.; e. *Aeshna* sp.; f. *Biomphalaria* sp.; g. *Hyalella* sp.; h. *Oxyethira* sp. 19

Figura 4. Abundancia porcentual de macroinvertebrados acuáticos por filo taxonómico del complejo de páramo Santurbán-Almorzadero 23

Figura 5. Abundancia porcentual de los taxones de macroinvertebrados acuáticos en las 16 lagunas muestreadas en el complejo de páramo Santurbán-Almorzadero. 24

Figura 6. Abundancia relativa de los órdenes de macroinvertebrados acuáticos más abundantes en las 16 lagunas muestreadas en el complejo de páramos Santurbán-Almorzadero 25

Figura 7. Estimación del número efectivo de especies de acuerdo con los tres primeros números de Hill (q = 0, q = 1 y q = 2) para 16 lagunas del complejo de páramo Santurbán-Almorzadero. 27

Figura 8. NMDS con base en Jaccard de las 16 lagunas muestreadas en el complejo de páramos Santurbán-Almorzadero. 28

Figura 9. NDMS con base en Bray-Curtis de las 16 lagunas muestreadas en el complejo de páramos Santurbán-Almorzadero. 29

Lista de Apéndices

Pág.

Apéndice A Coordenadas, elevación y municipio de las lagunas muestreadas en el complejo de páramo Santurbán-Almorzadero. 49

Apéndice B Abundancia total de los taxones de macroinvertebrados acuáticos encontrados en las 16 lagunas muestreadas en el complejo de páramo Santurbán-Almorzadero. 50

Apéndice C Valores de nutrientes y las variables fisicoquímicas tomadas in situ en el complejo de páramo Santurbán-Almorzadero. 51

Resumen

Título: Estudio de la diversidad, composición y estructura de los macroinvertebrados acuáticos asociados al complejo de páramos Santurbán-Almorzadero (Santander, Colombia) *

Autor: Mónica Lizeth Rey Celis**

Palabras Clave: Lagunas, Diversidad beta, *Hyalella* sp.

Descripción: Los ecosistemas de páramo son sistemas ecológicos de alta montaña que se encuentran principalmente en Sudamérica. Colombia alberga el 52% de los páramos del mundo, destacándose el complejo de páramos Santurbán-Almorzadero, ubicado entre los departamentos de Santander y Norte de Santander. La relevancia de los páramos radica en su papel fundamental para la regulación hídrica y la recarga de acuíferos. Entre las comunidades que habitan este ecosistema se encuentran los macroinvertebrados acuáticos, organismos de importancia ecológica por su papel como fuente alimenticia para consumidores terrestres y acuáticos, y por su contribución a la descomposición de materia orgánica. Esta investigación evaluó la diversidad, composición y estructura de los macroinvertebrados acuáticos asociados al complejo de páramos Santurbán-Almorzadero (Santander, Colombia). Para ello, se utilizaron muestras conservadas en la colección Hidrobiológica del Museo de Historia Natural de la Universidad Industrial de Santander. Los macroinvertebrados acuáticos asociados a macrófitas fueron recolectados empleando cuadrantes de 1 m² y una red de mano de 250 µm en 16 lagunas. Los organismos fueron fijados y conservados en alcohol al 70%. Se obtuvo un total de 4,631 individuos, pertenecientes a 38 taxones de cinco filos, nueve clases, 14 órdenes, 22 familias, 5 subfamilias, y 13 géneros. El orden Díptera presentó el mayor número de taxones (10). En relación con los taxones el género *Hyalella* sp. fue el más abundante. La laguna Barrosa fue la más diversa, posiblemente debido a su geomorfología, mientras que la laguna Pintada tuvo el menor número de especies efectivas, debido a sus condiciones oligotróficas. El análisis no métrico multidimensional (NMDS) basado en el índice de disimilitud de Jaccard y Bray-Curtis reveló un fuerte solapamiento para la mayoría de las lagunas, probablemente por tener condiciones ambientales similares, aunque las lagunas Negra, Plan, Monsalve y INPA mostraron diferencias en cuanto a la composición de la comunidad, probablemente debido a condiciones oligotróficas, bajos índices de diversidad y por estar geográficamente distantes de las demás lagunas. La riqueza y diversidad de las lagunas evaluadas concuerda con lo encontrado en otros cuerpos de agua ubicados por encima de los 3000 msnm.

* Pasantía de investigación
** Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. Biología. Director: Edwin Orlando López Delgado. Doctor en Ciencias de la vida silvestre y pesquera. Codirector: Diana Marcela Sánchez Lobo. Bióloga.

Abstract

Title: Study of the diversity, composition, and structure of aquatic macroinvertebrates associated with the Santurbán-Almorzadero páramo complex (Santander, Colombia). *

Author: Mónica Lizeth Rey Celis**

Key Words: Lagoons, Beta diversity, *Hyalella* sp.

Description Páramo ecosystems are high-mountain ecological systems found mainly in South America. Colombia harbors 52% of the world's páramos, with the Santurbán-Almorzadero páramo complex, located between the departments of Santander and Norte de Santander, standing out. The importance of páramos lies in their fundamental role in water regulation and aquifer recharge. Among the communities inhabiting this ecosystem are aquatic macroinvertebrates, organisms of ecological importance due to their role as a food source for terrestrial and aquatic consumers, as well as for their contribution to the decomposition of organic matter. This research assessed the diversity, composition, and structure of aquatic macroinvertebrates associated with the Santurbán-Almorzadero páramo complex (Santander, Colombia). For this purpose, samples preserved in the Hydrobiological Collection of the Natural History Museum at the Industrial University of Santander were used. Aquatic macroinvertebrates associated with macrophytes were collected using 1 m² quadrats and a 250 µm hand net in 16 lagoons. The organisms were fixed and preserved in 70% alcohol. A total of 4,631 individuals were obtained, belonging to 38 taxa from five phyla, nine classes, 14 orders, 22 families, five subfamilies, and 13 genera. The order Diptera showed the highest number of taxa (10). Among the taxa, the genus Hyalella sp. was the most abundant. Barrosa Lagoon was the most diverse, possibly due to its geomorphology, while Pintada Lagoon had the lowest number of effective species, likely due to its oligotrophic conditions. The non-metric multidimensional scaling (NMDS) analysis based on Jaccard and Bray-Curtis dissimilarity indices revealed a strong overlap for most of the lagoons, probably due to similar environmental conditions. However, Negra, Plan, Monsalve, and INPA lagoons showed differences in community composition, probably due to oligotrophic conditions, low richness indices, and their geographic distance from the other lagoons. The richness and diversity of the evaluated lagoons are consistent with findings from other water bodies located above 3,000 m a.s.l.

---

* Research internship.

** **Faculty of Science. School of Biology. Biology. Director: Edwin Orlando López Delgado. PhD. of Science in Wildlife and Fisheries Sciences. Co-director: Diana Marcela Sánchez Lobo. Biologist.

Introducción

El ecosistema de páramo se encuentra presente en regiones tropicales de alta montaña, entre los 3.000 y 4.500 msnm (Diaz-Granados et al., 2005). El 99% de los páramos del mundo se distribuye entre Colombia, Ecuador, Venezuela, con pocos afloramientos en Costa Rica y Panamá (Garavito, 2015). En Colombia el área de páramo recorre aproximadamente 2.853.733 hectáreas (*The Nature Conservancy*, 2025), representando así un 52% de los páramos del mundo (Castão, 2002). El complejo de páramo de Santurbán-Almorzadero, ubicado entre los departamentos de Santander y Norte de Santander, tiene un área total aproximada de 142.000 hectáreas (Morales, et al., 2007) el cual representa aproximadamente el 5% de los páramos de Colombia. Los páramos son ecosistemas estratégicos gracias a su papel en la regulación hídrica, ya que aporta a la recarga de acuíferos y agua potable (Ramírez y Plata, 2008), la cual se ha visto afectada por factores antrópicos y cambios ambientales (Leal, 2020).

Entre las comunidades que habitan los páramos, se encuentran los macroinvertebrados acuáticos (Herrera et al., 2023). Estos organismos visibles a simple vista (mayores a 0,5 mm) (Roldán, 2016) que están asociados a sustratos como rocas o plantas (Barrios, et al., 2011). Se pueden encontrar en ambientes lóticos, lénticos en zonas litorales y bentónicas, (Castillo et al., 2018). En ellos se encuentran múltiples taxones en diferentes estadios de desarrollo, como poríferos, hidrozoos, turbelarios, oligoquetos, insectos, arácnidos, crustáceos, gasterópodos y bivalvos (Roldán, 2003). Considerándose así un grupo altamente diverso, y con una gran importancia ecológica, ya que constituye una fuente alimenticia fundamental para consumidores acuáticos y terrestres (U.S. National Park Service, 2015), además de contribuir significativamente a la descomposición de materia orgánica (Wallace y Webster, 1996). Dentro de este grupo se pueden identificar diversos gremios tróficos, como depredadores, filtradores, raspadores,

trituradores y recolectores (Tomanova et al., 2006) y se destacan por su valioso papel como bioindicadores de la calidad del agua (e.g., Meza y Rubio, 2012).

A pesar de la gran importancia ecológica de los macroinvertebrados acuáticos, su diversidad en ecosistemas de páramo ha sido escasamente estudiada en Colombia. La mayoría de las investigaciones recientes se han concentrado en regiones como Antioquia, Valle del Cauca, Huila y Caldas (Montoya Moreno, 2007; Gómez Duque, 2012; Escobar Gutiérrez & Montoya Moreno, 2019; Mosquera Restrepo & Peña Salamanca, 2019; Caicedo Bolaños & Núñez Burgos, 2021; Prieto-Rodado, 2022).

En el departamento de Santander, el conocimiento sobre la diversidad de macroinvertebrados asociados al complejo de páramos Santurbán-Almorzadero es limitado. Existe únicamente un estudio enfocado en la diversidad de macroinvertebrados en un nacimiento del río en el páramo de Santurbán, Norte de Santander (Castellanos y Serrato, 2008) y un trabajo realizado por el grupo de limnología de la Universidad Industrial de Santander, titulado: “Las comunidades bentónicas y perifíticas como base para la evaluación de los sistemas hídricos lóticos del parea de jurisdicción de la CDMB” (Gavilán Díaz, 2000).

Por esta razón, la presente investigación se centró en evaluar la diversidad, composición y estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en sistemas lénticos del complejo de páramos Santurbán-Almorzadero, con el propósito de generar información de línea base que sirva como fundamento para futuros estudios ecológicos sobre la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en este ecosistema.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Evaluar la diversidad, composición y estructura de los macroinvertebrados acuáticos asociados al complejo de páramos Santurbán-Almorzadero.

1.2 Objetivos específicos

1. Identificar hasta el mínimo nivel taxonómico posible los macroinvertebrados acuáticos presentes en lagunas del complejo de páramos Santurbán-Almorzadero.
2. Establecer la diversidad alfa taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos presentes en las lagunas del complejo de páramos Santurbán-Almorzadero.
3. Estimar la diversidad beta taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos presentes en las lagunas del complejo de páramos Santurbán-Almorzadero.

2. Competencias que desarrollará el pasante

1. Habilidad en la identificación y clasificación de macroinvertebrados mediante claves taxonómicas, fijación y conservación de muestras.

2. Destreza para manejar y analizar bases de datos y diferentes formatos para ingreso a colecciones y al SiB Colombia.

3. Capacidad para realizar análisis de datos ecológicos.

4. Capacidades para el desarrollo de informes y escritura científica a partir de la información registrada.

3. Metodología

3.1 Área de estudio

El complejo de páramo Santurbán-Almorzadero hace parte de la cordillera Oriental de los Andes Colombianos, y contiene un área total aproximada de 142.000 hectáreas con altitudes entre los 3000 y 4.290 msnm (Romero Martínez, 2021). Este complejo de páramos se encuentra ubicado entre los departamentos de Santander y Norte de Santander, con una distribución aproximada del 28 % en Santander y del 72 % en Norte de Santander, abarcando un total de 30 municipios. En el páramo de Santurbán se han registrado 96 lagunas, mientras que en el páramo del Almorzadero se han identificado 21 (CDMB, 2013; MinAmbiente, 2016).

Estas lagunas cumplen un papel fundamental en la recarga hídrica de importantes ríos, como el Chicamocha, y constituyen la principal fuente de agua para las poblaciones aledañas. Es importante mencionar la gran diversidad de especies presentes, alberga alrededor de 750 especies entre fauna y flora, algunas endémicas del páramo, incluyendo frailejones, orquídeas entre otros. Las autoridades ambientales han garantizado que el 95% del área de páramo se encuentra protegida de activades como la minería, ganadería, agricultura entre otras (CDMB, 2013; MinAmbiente, 2016; SGC, 2022; UIS, 2019).

3.2 Fase de campo

Las muestras del presente estudio fueron recolectadas en las salidas de campo realizadas en el complejo de páramo Santurbán-Almorzadero, en el marco del proyecto "*Estructura ecológica y humedales en el desarrollo de la Consultoría para realizar el estudio de valoración económica ambiental y estado de conservación de los humedales priorizados del área de jurisdicción de la CDMB y estudios técnicos estrategia de conservación, uso y manejo de la biodiversidad en la Jurisdicción CDMB- Santander* (2022), durante el 2022.

La recolección de macroinvertebrados acuáticos se llevó a cabo mediante el establecimiento de cuatro cuadrantes de un metro cuadrado en las áreas con mayor presencia de macrófitas. De cada uno de los cuadrantes se tomó una muestra y se obtuvo tres replicas. En cada cuadrante, se extrajo todo el sustrato vegetal utilizando una red de mano de 250 μm (Surber, H.B., 1937) y el material recolectado se almacenó temporalmente en bolsas plásticas para luego ser fijado en alcohol al 96 %. En cada punto de estudio se midieron variables fisicoquímicas del agua *in situ* y se tomó una muestra de agua de 1 litro para los análisis de nutrientes en laboratorio del Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales (CEIAM-UIS), a partir de la metodología "*Estándar Methods for the examination of water and wastewater*" (Baird, *et al*., 2017).

Este estudio se enfocó exclusivamente en lagunas ubicadas a más de 3.000 metros sobre el nivel del mar, abarcando un total de 16 cuerpos de agua (Figura 1). Algunas de las lagunas muestreadas se pueden observar en la Figura 2.

3.3 Fase de laboratorio

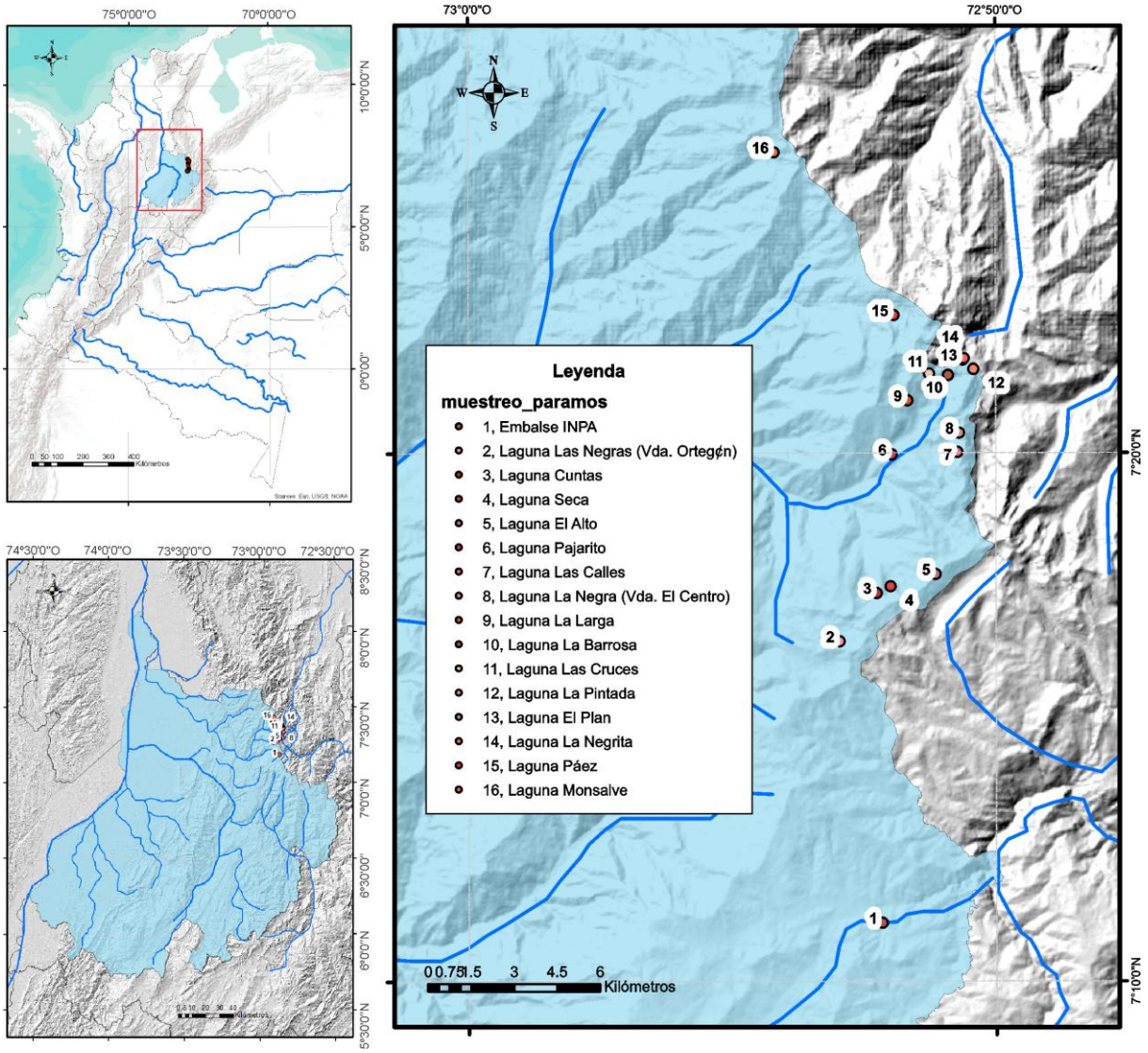
Las muestras de macroinvertebrados acuáticos fueron transportadas al Laboratorio de Hidrobiología, de la Universidad Industrial de Santander, donde se limpiaron con abundante agua utilizando una batería de tamices de poro de malla de 500 μm, 300 μm y 100 μm. Posteriormente, los morfotipos fueron separados manualmente con pinzas blandas y depositados en frascos plásticos con alcohol al 70 % para su identificación taxonómica. Todos los organismos recolectados se encuentran depositados en la Colección de Hidrobiología del Museo de Historia Natural de la Universidad Industrial de Santander.

La determinación taxonómica se realizó empleando un estereoscopio ZEISS Stemi305 y se realizó la identificación hasta el mínimo nivel taxonómico posible con la ayuda de claves

taxonómicas especializadas como Roldán Pérez, (1996); Domínguez y Fernández, (2009); Palma, (2013); y Damborenea, Thorp & Rogers, (2020).

Figura 1

Mapa de ubicación y puntos de muestreo dentro del complejo de páramo Santurbán-Almorzadero.

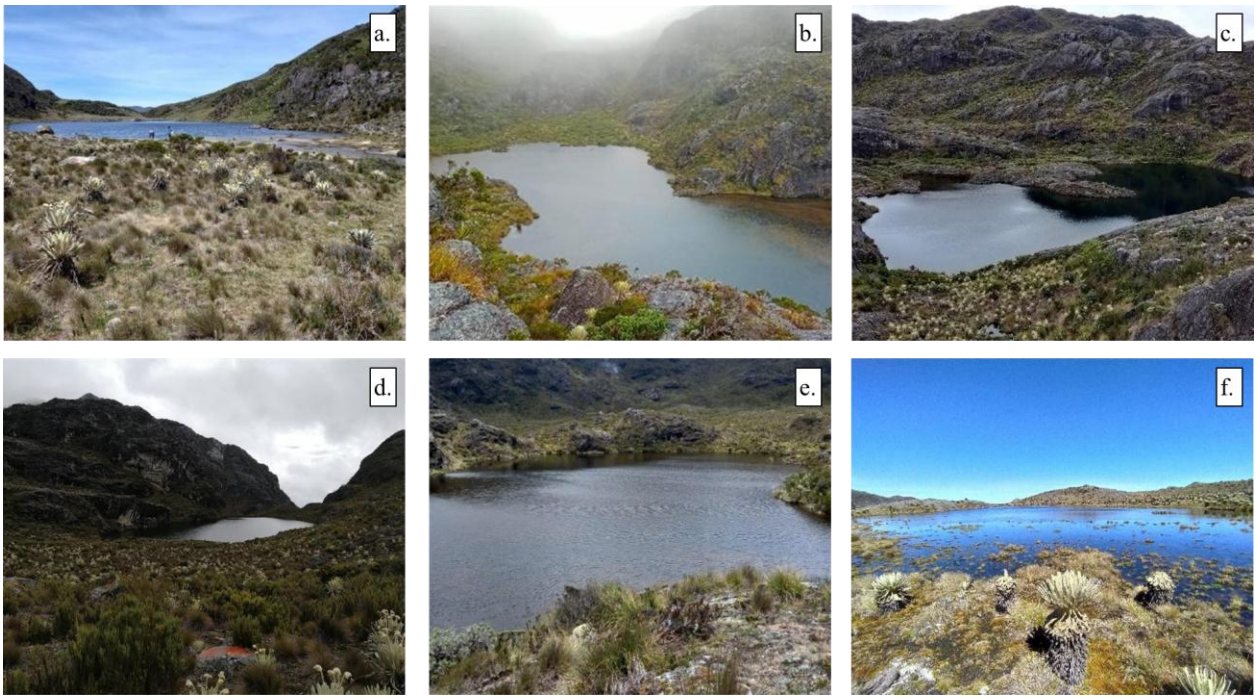


Posterior a la identificación, se realizó el conteo de los individuos, y se registró toda la información en una base de datos estructurada conforme al estándar Darwin Core. Se tomaron fotografías a los morfotipos más abundantes, para generar un registro visual actualizado de los

taxones presentes. Durante el proceso se incorporaron nuevos lotes a la colección (UIS-MHB-4640 a UIS-MHB-5107) como resultado de la identificación y separación de morfotipos.

Figura 2.

Algunas lagunas del complejo de páramo Santurbán-Almorzadero: a. Larga; b. Barrosa; c. Pintada; d. Plan; e. Monsalve; f. Alto.



3.4 Análisis de datos

3.4.1 Análisis taxonómico

Con el fin de describir la composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, se realizó una tabla de la composición general empleando el programa Excel, a partir de los datos obtenidos por el conteo de los taxones identificados. Empleando esta tabla se calcularon abundancias relativas para hacer las gráficas agrupando los datos por taxon y laguna, y así poder evaluar la distribución de la abundancia entre taxa y lagunas.

3.4.2 Análisis de diversidad Alfa

Para calcular la diversidad Alfa de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, se utilizó el programa R (R Core team, 2025) utilizando el paquete ggplot2, que permitió calcular curvas de rarefacción y extrapolación utilizando los números de Hill q0, q1 y q2. Estos, evaluaron la riqueza, el exponente del índice de diversidad de Shannon y el inverso de la diversidad de Simpson (Chao et al. 2014) en las 16 lagunas estudiadas, esto con el fin de determinar si hay alguna especie dominante en la zona y como se distribuye la abundancia de especies.

3.4.3 Análisis de diversidad Beta

Para estimar la diversidad beta entre los sitios muestreados, se empleó el paquete *Vegan* usando el programa R (v. 2.7-1; Oksanen et al., 2025). Se construyeron dos matrices de disimilitud: una basada en el índice de Jaccard, utilizando datos binarios de presencia/ausencia, lo cual permite comparar la composición de taxa entre lagunas, y otra en la disimilitud de Bray-Curtis, que considera las abundancias relativas. Esto permite mostrar si hay diferencias en la estructura de la comunidad entre lagunas. Estas matrices permitieron cuantificar la variación en la composición de especies entre las lagunas (Oksanen et al., 2025; Steinhaus, 1938, adaptado para Bray–Curtis). Además, se aplicó un análisis no métrico multidimensional (NMDS), para representar gráficamente las similitudes o diferencias entre las lagunas (Dexter, Rollwagen-Bollens, & Bollens, 2018).

Adicionalmente, se aplicó la prueba ANOSIM (Análisis de Similitud), utilizando 999 permutaciones, con el objetivo de evaluar si las diferencias en la composición entre localidades fueron estadísticamente significativas (Clarke, 1993).

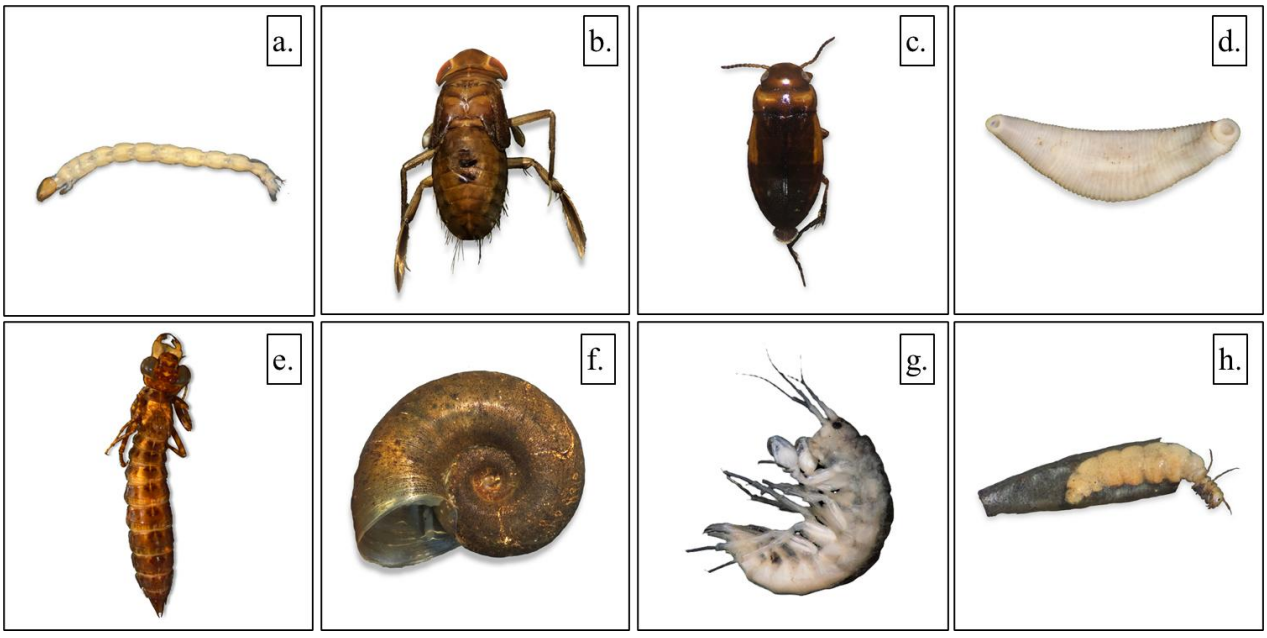
4. Resultados

4.1 Análisis taxonómico

En el complejo de páramo Santurbán-Almorzadero la comunidad de macroinvertebrados acuáticos registró un total de 4631 individuos, pertenecientes a 38 taxones de cinco filos, nueve clases, 14 órdenes, 22 familias, 5 subfamilias, y 13 géneros (Tabla 1, Apéndice A). El orden Díptera presentó el mayor número de taxones con 10, seguido del orden Odonata con 5 taxones, Hirudinida, Coleóptera, Sphaeriida y Hemíptera con tres, Lymnaeida con dos, y Clitellata, Tubificida, Acariformes, Diplostraca, Collembola, y Trichoptera con un taxón (Figura 3).

Figura 3.

Algunos taxa de macroinvertebrados acuáticos del complejo de páramo Santurbán-Almorzadero: a. Tanypodinae; b. Corixidae; c. Dytiscidae; d. Helobdella sp.*; e. Aeshna* sp.; *f. Biomphalaria* sp.; *g. Hyalella* sp.*; h. Oxyethira* sp.



El género *Hyalella* sp. fue el más abundante, con 1746 individuos, lo que equivale a una densidad de 436 individuos/m² aproximadamente. En segundo lugar, la familia Chironomidae tuvo

821 individuos, con una densidad de 205 ind/m². El tercer taxón más abundante fue el orden Diplostraca con un total de 503 individuos, representando una densidad de 125 ind/m². La familia Corixidae fue el cuarto taxón más abundante con 299 individuos y una densidad de 75 ind/m² (Tabla 1).

El orden Acariformes, la familia Micronectidae, y el género *Helobdella* sp. tuvieron un total de 162, 132, y 116 individuos respectivamente (Tabla 1). Los taxones que tuvieron abundancias menores a cien individuos fueron: el orden Clitellata, la clase copépoda y la familia Naididae, las familias Dytiscidae, Aeshnidae y Notonectidae, y los géneros *Dasyhelea* sp. *Placobdella* sp. y *Probezzia* sp. (Tabla 1).

Los taxones menos abundantes fueron los que pertenecen al filo Nematomorpha con 12 individuos, el género *Oxyethira* sp., la familia Hydrophilidae y el género *Alluaudomyia* sp. Las familias Dolichopodidae, Empididae y Tipulidae. El orden Collembola y el género *Ptilodactyla* sp., y las familias Coenagrionidae, Libellulidae y el género *Neoerythromma* sp. con un individuo respectivamente (Tabla 1).

Como se puede observar en la Figura 4, el Filo que más contribuyó porcentualmente fue Arthropoda alcanzando una representatividad del 85,7% de los individuos encontrados en las 16 lagunas muestreadas en el complejo de páramo Santurbán-Almorzadero. El segundo Filo más abundante fue Mollusca con el 8,6%, Annelida el tercero con 5% seguido de Platyhelminthes y Nematomorpha con 0,4% y 0,3% respectivamente (Figura 4).

Tabla 1.

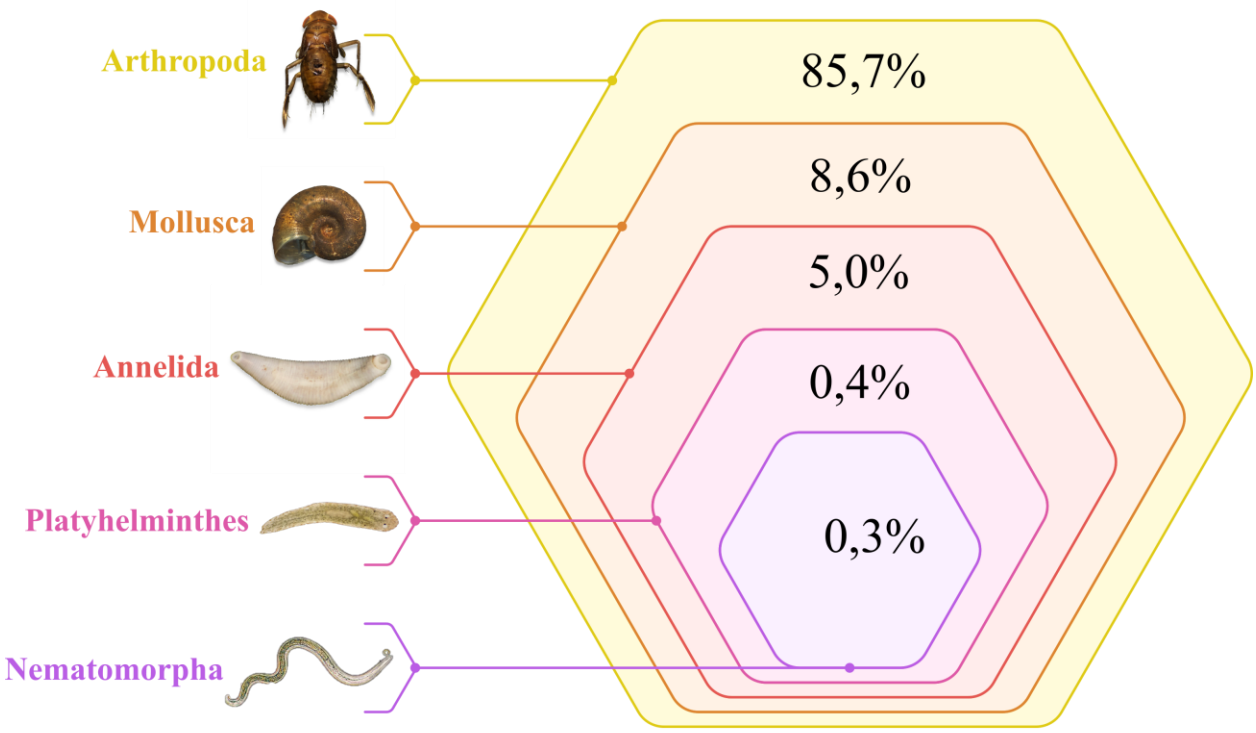
Composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en el complejo de páramo Santurbán-Almorzadero.

Filo	Clase	Orden	Familia	Subfamilia	Género	Taxón	Abundancia	Densidad ind/m^2
Annelida	Clitellata					Clitellata	58	14
		Hirudinida	Glossiphoniidae		Helobdella sp.	*Helobdella* sp.	116	29
					Placobdella sp.	Placobdella sp.	26	6
						Hirudinida	1	1
		Tubificida	Naididae			Naididae	32	8
Arthropoda	Arachnida	Acariformes				Acariformes	162	40
	Branchiopoda	Diplostraca				Diplostraca	503	126
	Collembola	Collembola				Collembola	2	1
	Copepoda					Copepoda	32	8
	Insecta	Coleóptera	Dytiscidae			Dytiscidae	80	20
			Hydrophilidae			Hydrophilidae	5	1
			Ptilodactylidae		Ptilodactyla sp.	*Ptilodactyla* sp.	2	1
		Díptera	Ceratopogonidae	Ceratopogoninae	Alluaudomyia sp.	*Alluaudomyia* sp.	5	1
					Probezzia sp.	*Probezzia* sp.	18	5
				Dasyheleinae	Dasyhelea sp.	*Dasyhelea* sp.	94	24
			Chironomidae	Chironominae		Chironominae	385	96
						Chironomidae	17	4
				Orthocladiinae		Orthocladiinae	134	34
				Tanypodinae		Tanypodinae	285	71
			Dolichopodidae			Dolichopodidae	7	2
			Empididae			Empididae	3	1
			Tipulidae			Tipulidae	4	1
		Hemíptera	Corixidae			Corixidae	299	75
			Micronectidae			Micronectidae	132	33
			Notonectidae			Notonectidae	14	4
		Odonata	Aeshnidae		Aeshna sp.	*Aeshna* sp.	6	2
						Aeshnidae	23	6

			Coenagrionidae	Neoerythromma sp.	*Neoerythromma* sp.	1	1
			Coenagrionidae		Coenagrionidae	1	1
			Libellulidae		Libellulidae	1	1
		Trichoptera	Hydroptilidae	Oxyethira sp.	*Oxyethira* sp.	9	2
	Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	Hyalella sp.	*Hyalella* sp.	1746	436
Mollusca	Bivalvia	Sphaeriida	Sphaeriidae		Sphaeriidae	80	20
				Pisidium sp.	*Pisidium* sp.	30	8
	Gastropoda	Lymnaeida	Physidae	Physa sp.	*Physa* sp.	168	42
			Planorbidae	Biomphalaria sp.	*Biomphalaria* sp.	121	30
Nematomorpha					Nematomorpha	12	3
Platyhelminthes					Platyhelminthes	17	4
Total						**4631**	**1157**

Figura 4

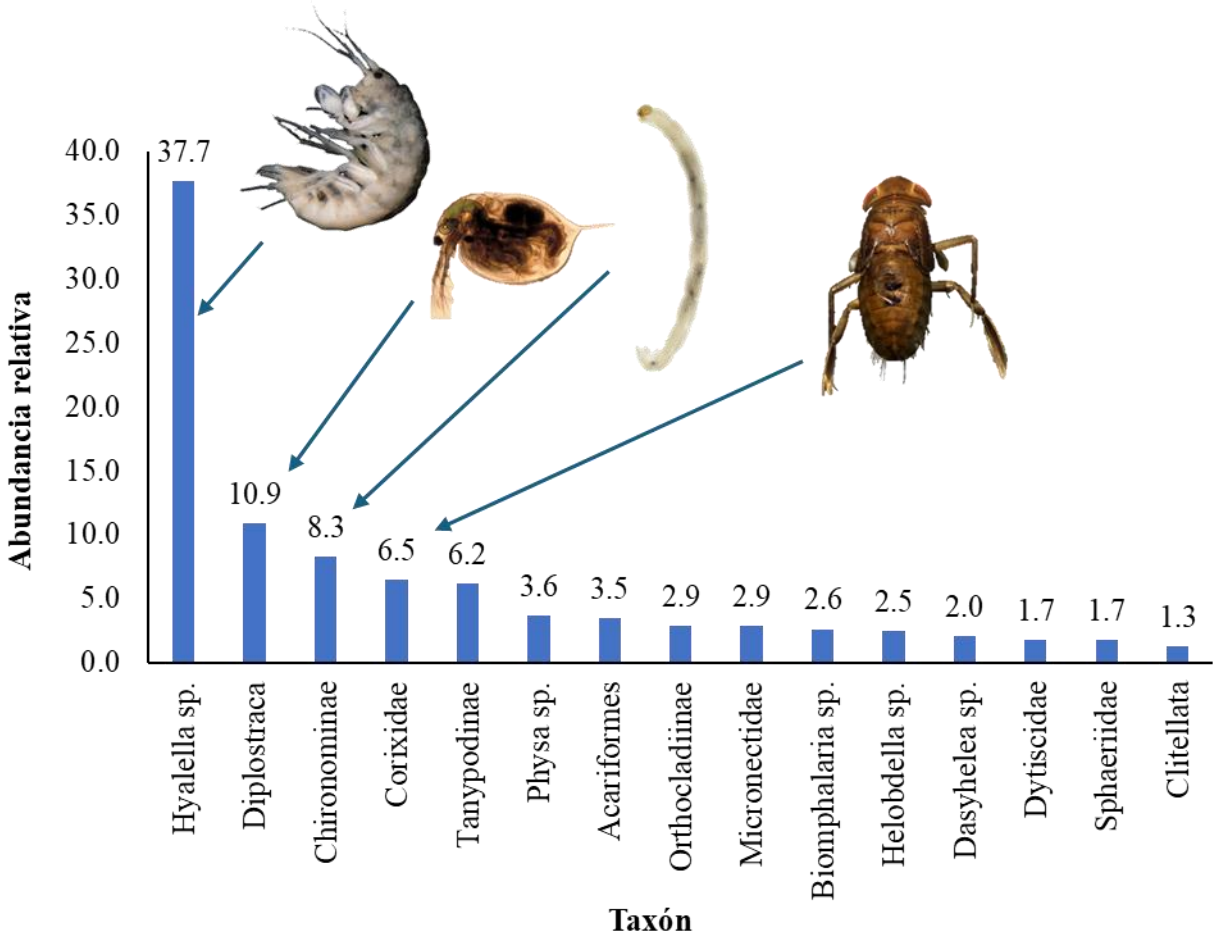
Abundancia porcentual de macroinvertebrados acuáticos por filo taxonómico del complejo de páramo Santurbán-Almorzadero.



Las abundancias porcentuales por taxón a nivel espacial mostraron que el taxón más abundante fue el género *Hyalella* sp., representando el 37,7%. El segundo taxón más abundante con una representación del 10,9% fue el orden Diplostraca, mayormente cladóceros, seguido de la subfamilia Chironominae, la familia Corixidae y la subfamilia Tanypodinae con una representación del 8,3%, 6,5% y 6,2% respectivamente. Los taxones menos abundantes fueron el género *Physa* sp., el orden Acariformes, la subfamilia Orthocladiinae, la familia Micronectidae, y los géneros *Biomphalaria* sp., *Helobdella* sp., y *Dasyhelea* sp., y las familias Dytiscidae, Sphaeriidae y la clase Clitellata, tuvieron abundancias de entre el 1,3% y 3,6% (Figura 5).

Figura 5.

Abundancia porcentual de los taxones de macroinvertebrados acuáticos en las 16 lagunas muestreadas en el complejo de páramo Santurbán-Almorzadero.



Nota: En la Figura 5 se incluyeron únicamente los taxones que representaron una abundancia porcentual mayor al 1%.

En la Figura 6 se observa la contribución de abundancia porcentual a nivel espacial de las 16 lagunas muestreadas organizadas altitudinalmente de mayor a menor. La laguna la Larga registró la mayor abundancia relativa con 18,1% del total de individuos donde los órdenes Diplostraca y Amphipoda fueron los más representativos (Figura 6). La laguna Seca y el Alto representaron el 11,1% cada una; Seca y Alto estuvieron representadas principalmente por el orden

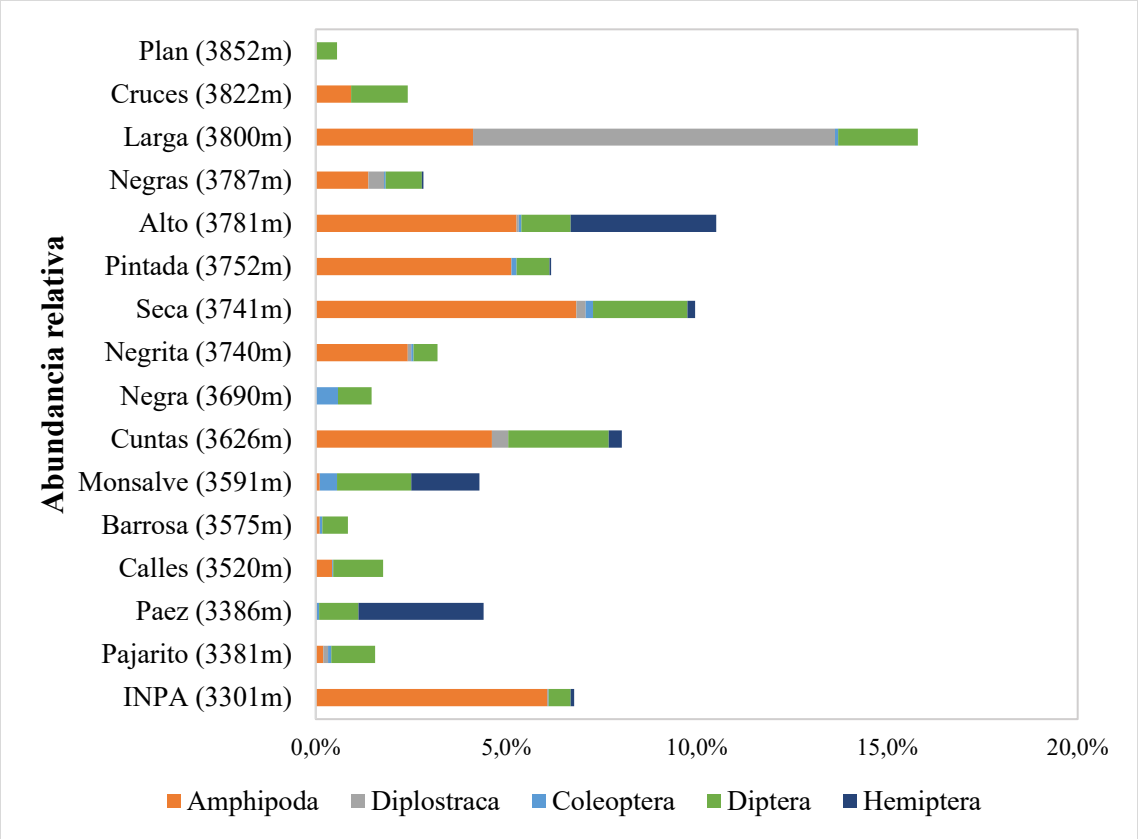
Amphipoda y Hemíptera. La laguna Cuntas tuvo una representación del 10,7% siendo el género *Hyalella* sp. el taxón más abundante (Figura 6).

Las lagunas Larga, Seca, Alto y Cuntas registraron el 51% del total de organismos muestreados. Las demás lagunas presentaron una abundancia menor al 10% (INPA, Pintada, Páez, Monsalve, Negras con abundancias de 9,4%, 6,7%, 5,5%, 4,6%, 4,5% respectivamente). INPA tuvo una relevante presencia del género *Hyalella* sp. (Amphipoda), con un 6,1% y La laguna Monsalve se caracterizó por la alta densidad de dípteros (Figura 6).

Las lagunas Negritas y Calles tuvieron una abundancia mayor al 4%, mientras que las lagunas con menores abundancias fueron Cruces, Negra, Barrosa, y Plan con abundancias entre el 0,8% y el 3,1%. A nivel espacial se puede observar una leve tendencia al aumento de abundancias a medida que se incrementa la altitud, caracterizándose por la abundancia del género *Hyalella* sp. y el orden Diplostraca (Figura 6).

Figura 6.

Abundancia relativa de los órdenes de macroinvertebrados acuáticos más abundantes en las 16 lagunas muestreadas en el complejo de páramos Santurbán-Almorzadero.



Nota: En la Figura 6 se incluyeron únicamente los órdenes más abundantes.

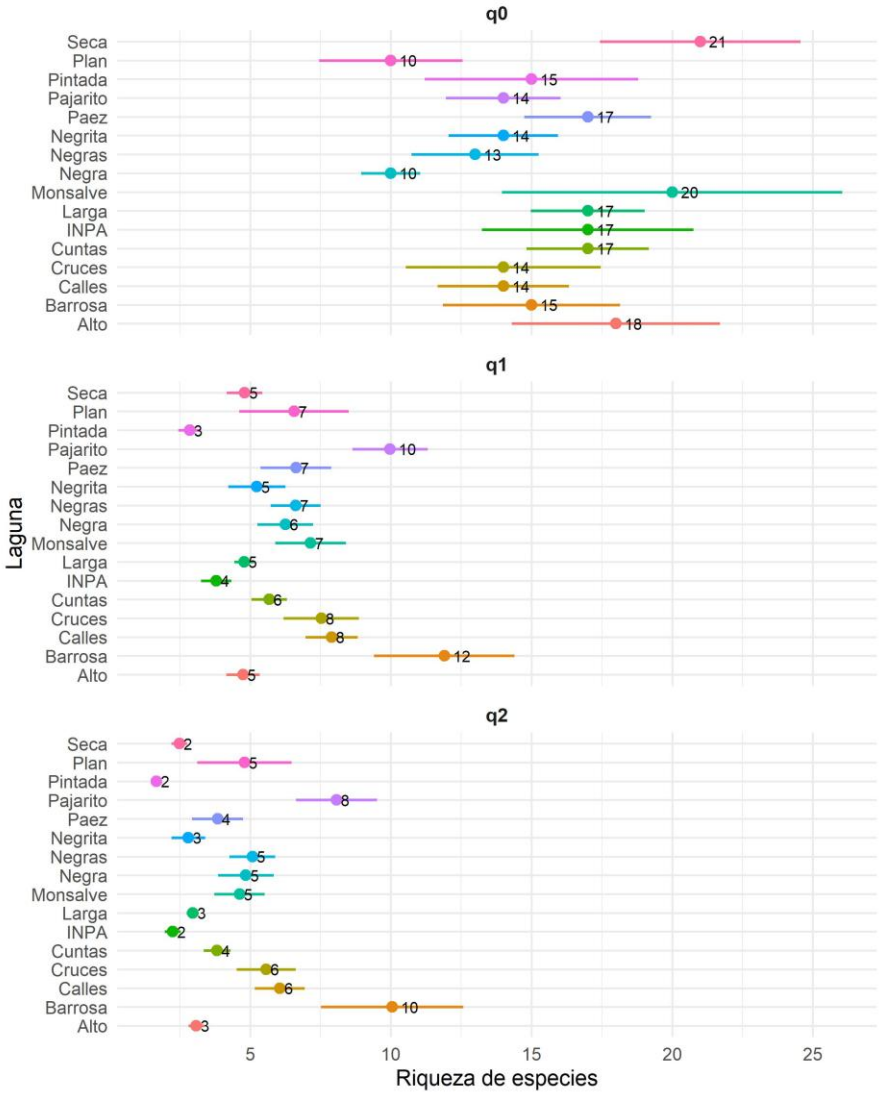
4.2 Diversidad Alfa

El análisis de diversidad alfa por lagunas evidenció que para el orden q=0 no se presentaron diferencias estadísticamente significativas al sobreponerse el trazo de cada laguna entre 10 y 20, a excepción de la laguna negra y seca que están al límite (Figura 7). En cuanto a la diversidad efectiva de especies comunes (q=1), se encontraron diferencias significativas donde Barrosa fue la laguna más diversa con 12 especies efectivas. La segunda laguna más diversa fue Pajarito con 10 especies efectivas. Cruces, Calles y Plan, Negras, Páez y Monsalve tuvieron entre 7-9 especies efectivas. Larga, Negra fueron las menos diversas con entre 4-5 especies efectivas. En cuanto a q=2 (índice inverso de Simpson), se pudo observar que Barrosa fue nuevamente la laguna más diversa con 10 especies efectivas.

La segunda laguna más diversa fue Pajarito con 8 especies efectivas. Negras, Negra, Plan, Calles, Cruces, y Monsalve, tuvieron entre 5-6 especies efectivas. Alto, Larga, Negrita, Cuntas, y Páez tuvieron entre 3-4 especies efectivas. Por último, las lagunas menos diversas fueron Seca y Pintada con 2 especies efectivas (Figura 7).

Figura 7.

Estimación del número efectivo de especies de acuerdo con los tres primeros números de Hill (q = 0, q = 1 y q = 2) para 16 lagunas del complejo de páramo Santurbán-Almorzadero.

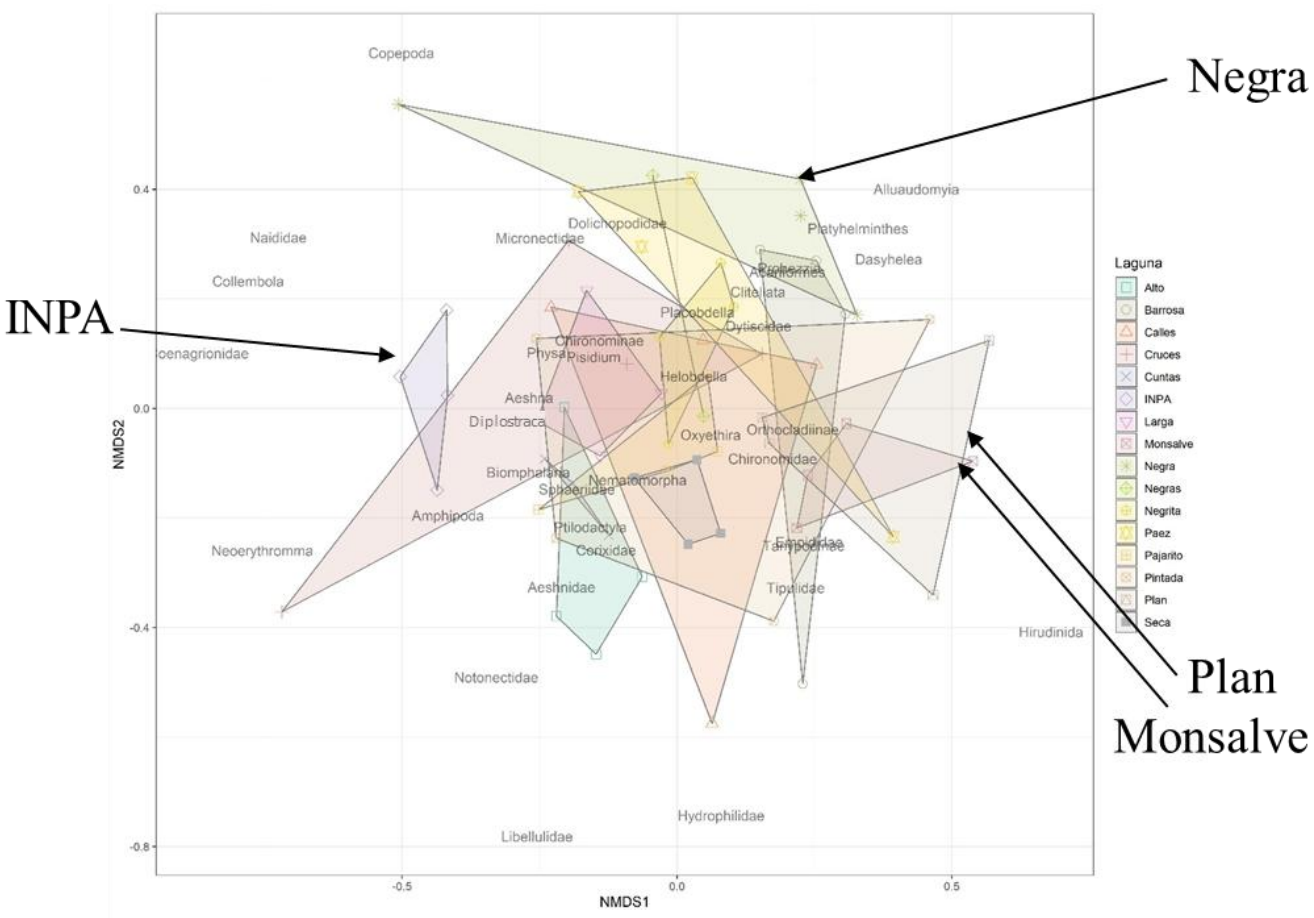


4.3 Diversidad Beta

El análisis NMDS basado en el índice de disimilitud de Jaccard, el cual toma en cuenta únicamente la presencia y ausencia de los taxones, reveló un fuerte solapamiento para la mayoría de las lagunas en la parte central del gráfico (Figura 8). Localidades como las lagunas Negrita, Pintada, Larga, Calles, Seca y Pajarito mostraron una composición de la comunidad de macroinvertebrados similar. En contraste, se encontró que las lagunas Negra, Plan, Monsalve e INPA se alejaron del agrupamiento principal, mostrando diferencias en cuanto a la composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos (Figura 8). Los resultados del análisis de similitud (ANOSIM), basados en Jaccard, permitieron corroborar que existen diferencias estadísticamente significativas entre las lagunas evaluadas con cierta superposición entre las lagunas ($R = 0.3526$; valor $p = 0.001$).

Figura 8.

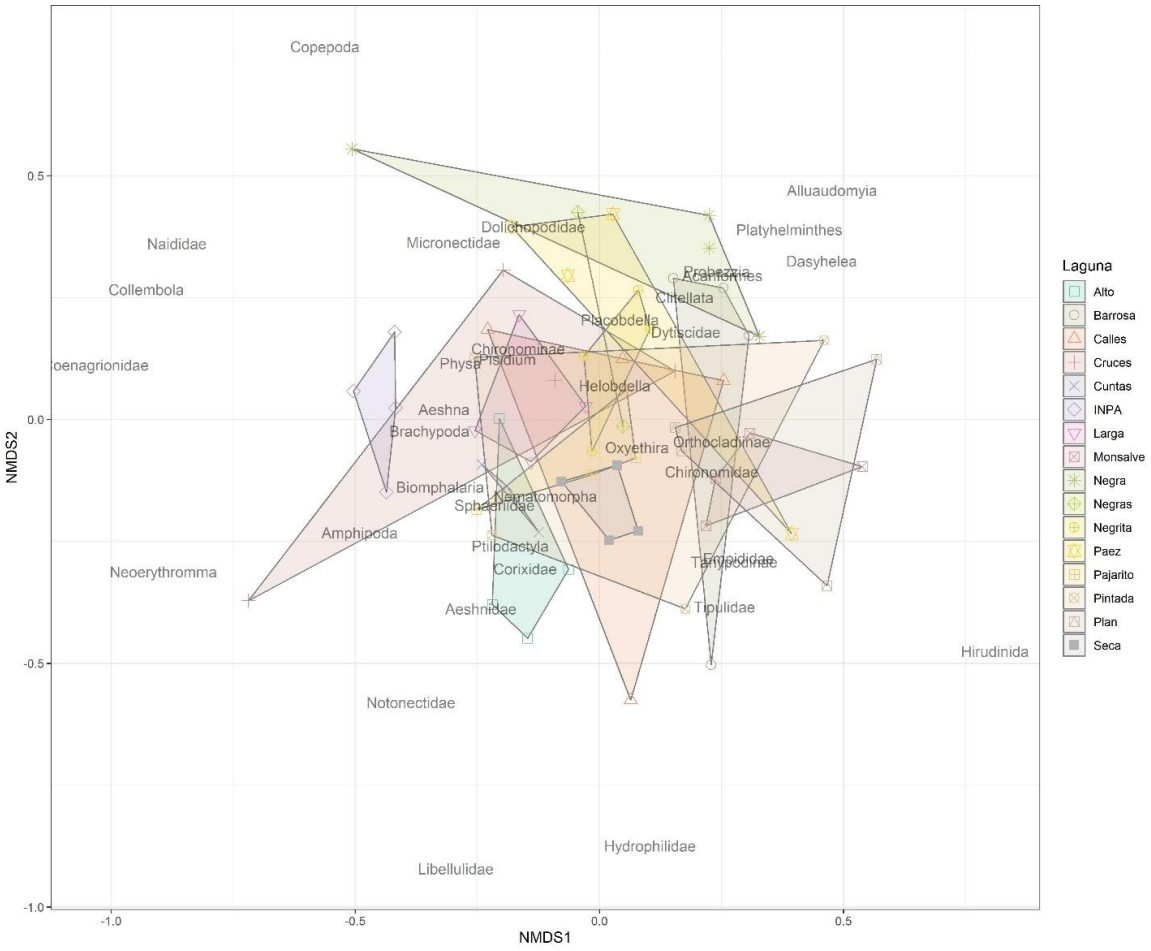
NMDS con base en Jaccard de las 16 lagunas muestreadas en el complejo de páramos Santurbán-Almorzadero.



El NMDS basado en la disimilitud de Bray–Curtis el cual tiene en cuenta las abundancias de las especies, mostró los mismos agrupamientos observados en el NMDS basado en Jaccard, donde se puedo observar un fuerte solapamiento para la mayoría de las lagunas (Figura 9).

Figura 9.

NDMS con base en Bray-Curtis de las 16 lagunas muestreadas en el complejo de páramos Santurbán-Almorzadero.



Se encontraron diferencias significativas en la compasión de las lagunas Negra, INPA, Plan y Monsalve (El NMDS basado en la disimilitud de Bray–Curtis el cual tiene en cuenta las abundancias de las especies, mostró los mismos agrupamientos observados en el NMDS basado en Jaccard, donde se puedo observar un fuerte solapamiento para la mayoría de las lagunas (Figura 9).

Figura 9). Finalmente, el análisis con ANOSIM basado en la disimilitud de Bray–Curtis arrojó igualmente un estadístico R = 0.3526, lo cual indica cierta superposición, pero variación entre lagunas, confirmando diferencias reales entre las comunidades muestreadas (p = 0.001).

5. Discusión

Alba-Hincapié, González-Rey, & Longo (2016) reportan que la riqueza de taxones en sistemas lénticos de ecosistemas de páramo varía entre 20 y 30 taxones aproximadamente, lo cual concuerda con lo registrado por Posada-García et al. (2008) quienes reportan entre 11y 18 taxones en el Páramo de Frontino, Gómez et al. (2016) encontraron 19 taxones en la laguna La Virginia del Páramo de Sumapaz, y Guerrero-Jiménez et al. (2024). Sin embargo, en el presente estudio se encontraron más taxones (38) lo cual podría deberse al abarcar una mayor extensión de área del páramo al tener 16 puntos de muestreo, ya que los estudios previos se enfocan en una sola laguna como punto de estudio.

La dominancia del Filo Arthropoda refleja una comunidad de macroinvertebrados acuáticos representada por Amphipoda e Insecta principalmente, los cuales tienen una tendencia de colonizar y reproducirse rápidamente en diferentes ambientes (Hartman et al., 2019). El Filo Mollusca tiene una representación mucho menor en comparación al Filo Arthropoda lo cual puede deberse al ser taxones que no toleran ambientes extremos con temperaturas bajas, exceso de vegetación sumergida, variabilidad en el pH, lo cual reduce su diversidad (Boggero et al., 2006; Encina-Montoya et al., 2021; Encina-Montoya et al., 2023). Este Filo está principalmente compuesto por familias como Physidae y Planorbidae en lagunas altoandinas (Tapia et al., 2018).

Los filos Annelida, Platyhelminthes y Nematomorpha presentan una reducida representación en lagunas de alta montaña, lo cual se explica por la combinación de factores ambientales característicos de estos ecosistemas (Rautio et al., 2010; Bartels et al., 2021; Glasby, 2021). Entre ellos destacan las condiciones oligotróficas, la elevada intensidad de radiación ultravioleta y las marcadas fluctuaciones en los niveles de oxígeno disuelto. Estas condiciones

extremas inciden de manera directa sobre sus ciclos de vida, restringiendo los procesos de desarrollo y reproducción, limitando la capacidad de reparación celular y generando un ambiente selectivo para unas pocas especies tolerantes (Rautio et al., 2010; Bartels et al., 2021; Glasby, 2021).

La abundancia del género *Hyalella* sp., concuerda con lo encontrado en otros de ecosistemas de alta montaña ubicados por encima de los 3000 msnm ya que se ha reportado que son fuertemente resistentes a bajas temperaturas y aguas con una alta oxigenación (Hankel, 2023; Castellanos & Serrato, 2008 y Farías, 2018). A nivel espacial también se pudo observar que la laguna Larga tuvo una alta dominancia del orden Diplostraca, principalmente cladóceros, los cuales se han reportado en ecosistemas con alta oxigenación, mayor presencia de materia orgánica y pH ligeramente ácidos (Kane et al. 2024; Karpowicz & Ejsmont-Karabin, 2018), concordando con los valores de nutrientes encontrados para esta laguna.

La composición general de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en el complejo de páramos Santurbán-Almorzadero es similar a la reportada en otros ecosistemas de páramo. Se destaca la fuerte representación de la familia Chironomidae, reconocida por su amplia distribución a lo largo de diferentes gradientes altitudinales (Posada-García et al., 2008). Asimismo, el orden Hemíptera, particularmente las familias Corixidae y Notonectidae, ha mostrado adaptaciones a la altitud y se ha registrado como uno de los grupos más comunes en ecosistemas lénticos altoandinos (Álvarez & Roldán, 2017; Meza-Sánchez & Roldán, 1986), lo cual coincide con los resultados del presente estudio.

En cuanto a la diversidad alfa, la laguna Barrosa registró los valores más altos asociados a los números de Hill de orden q=1 y q=2. Esto posiblemente se debe a los altos niveles de fósforo y nutrientes registrados en el cuerpo de agua, relacionados probablemente con la geomorfología

circundante, que puede favorecer la entrada de materiales por escorrentía y su retención en el sistema. Evidencias similares muestra Beck *et al.* (2024), donde taxones como Oligochaeta aumentan en individuos cuando se presenta mayor cantidad de fósforo en el cuerpo de agua. Tendencia que no solo se aprecia en cuerpos de agua de páramo según Azevedo *et al.* (2013) quienes muestran que independiente de la altura y temperatura el fósforo como nutriente potencia el número de individuos. Aunque no se dispone de un estudio directo para Barrosa, investigaciones en lagunas de páramo como La Virginia han demostrado que la conductividad eléctrica, los sulfatos y la temperatura del agua son determinantes clave para el aumento de biomasa y diversidad de macroinvertebrados (Gómez Hernández & Salazar Santana, 2015).

Por otro lado, la laguna Pintada fue la menos diversa, una condición atribuible a un posible estatus oligotrófico mayor al de las demás lagunas, caracterizado por bajos niveles de nutrientes asociados a su alta transparencia (Color = 0, Apéndice C.), además de una alta dominancia del género *Hyalella* sp. Este patrón es común en sistemas lénticos de páramo con condiciones prístinas y bajos insumos tróficos (Gómez, Salazar & Longo, 2016) lo que sugiere que, en condiciones oligotróficas, ciertos taxones (como *Hyalella* sp.) pueden dominar fuertemente, reduciendo la diversidad efectiva.

Cuando se consideran las especies dominantes mediante los números de Hill de orden q = 2 (que ponderan la abundancia de las especies predominantes), se observa que Pintada, Seca e INPA presentaron la menor diversidad efectiva. Estas lagunas se destacan porque los individuos de *Hyallela* sp. sobrepasan el 60% de los taxones de cada una, además, presentan de manera moderada taxones como *Chorinominae*. Por otro lado, con un patrón similar se encuentra el Alto, sin embargo, destaca la gran abundancia de *Corixidae* y la presencia de *Micronectidae.* Esto sugiere que el sustrato en estas cuatro lagunas es apto para organismos detritívoros como *Hyallela*

sp. pero al tener un pH más acido la laguna el Alto permite la presencia de especies como *Corixidae*, ya que estas suelen estar en cuerpos de agua con pH ácidos (Wollman, 2000),(Rideout et al., 2022). En INPA, siendo un embalse, la diversidad podría diferenciarse por la alta cantidad de vegetación sumergida, lo que favorece la dominancia de algunos taxones como *Hyalella* sp., y *Physa* sp. (Wu et al., 2015). Gómez et al., (2016) encontraron que sustratos estructurados, pueden sustentar alta biomasa, pero baja diversidad comparados con rocas o sedimentos, que presentan mayor equidad, esto también se puede asociar a una homogeneidad del hábitat y del mismo modo a una oferta limitada de alimentos al igual que se presenta en otras altitudes (Rubio et al., 2016; Nuñez y Fragoso-Castilla, 2019; Walteros Rodríguez y Castaño Rojas, 2020).

Generalmente, se asume que una mayor diversidad refleja mejores condiciones ecológicas (Logue et al., 2011). Sin embargo, en este estudio las lagunas Pintada y Seca, que presentaron una baja diversidad según el índice q=2, tienen condiciones contrastantes. Pintada exhibe características oligotróficas propias de los ecosistemas de páramo, como una baja cantidad de materia orgánica (DQO<0.1) y una alta oxigenación. Por otro lado, Seca es la laguna con mayor presencia de materia orgánica y con el índice q=0 más alto. Esto sugiere que, a pesar de su reducida diversidad, se pueden tener sistemas ambientalmente consistentes, donde las condiciones extremas pero estables limitan el número de especies sin comprometer su funcionamiento ecológico (Logue et al., 2011).

Las diferencias observadas entre la laguna Negra y Plan probablemente se deben a sus condiciones oligotróficas, lo que se expresa en una riqueza taxonómica baja, coherente con las características de ecosistemas de alta montaña que experimentan baja productividad y dominancia de taxones especializados (Nelson & Carlson, 2011; Oleksy et al., 2020). En cuanto a Monsalve, su mayor diversidad puede relacionarse con la presencia adicional de moluscos, lo que sugiere un

hábitat más estructurado y condiciones ligeramente más favorables e idóneas para especies más sensibles a variables ecosistémicas (Peeters et al., 2004). Esto se ve respaldado por la presencia de taxones de *Corixidae* y *Dytiscidae*, los cuales según estudios previos se asocian a microhábitats tranquilos, buena vegetación y aguas limpias, especialmente el *Dytiscidae* en zonas de paramo (Boulahbal *et al.*, 2022; Blon *et al.,* 2023). Esta laguna además se distingue geográficamente al ser la más alejada del grupo, lo que puede promover mayor heterogeneidad ecológica y ensamblaje de taxones divergentes, esta variación geográfica tal vez se pueda ver representada en que es la laguna con mayor contenido de coliformes (900 UFC/100ml) y Fenoles (70 mg/L) (Soininen et al., 2007).

Por otro lado, INPA, al ser un embalse y además estar distante geográficamente, presenta condiciones hidráulicas y ecológicas contrastantes con las lagunas naturales, como la cantidad y tipo de nutrientes y la turbidez. Algunos estudios han mostrado que los embalses alteran el transporte longitudinal de nutrientes y materia orgánica, debido a mecanismos de eutrofización, transformación biogeoquímica y procesos de retención y acumulación de aguas (Gallo *et al*., 2014; Moreno, 2018), reestructurando la composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, lo cual sin un control adecuado puede llevar a reducir la diversidad taxonómica (Allan y Castillo, 2007; Duo *et al.,* 2022; Amusan *et al.,* 2024). Además, el desarrollo controlado del flujo, típico de embalses, modifica el hábitat físico como sustrato y disposición de materia orgánica, lo que puede generar la pérdida de riqueza en comparación a ecosistemas naturales (Henao-Henao, 2021). Así mismo, a formación de embalses genera ecosistemas lénticos nuevos que reconfiguran la comunidad original de los cuerpos de agua, favoreciendo especies tolerantes a condiciones extremas o poco favorables (Marquez & Guillot, 2001).

6. Conclusiones

Se identificaron un total de 38 taxones, destacando el género *Hyalella* sp. como el más abundante, el orden Díptera registro la mayor riqueza con 10 taxones. La riqueza de las lagunas evaluadas concuerda con lo encontrado en otros cuerpos de agua por encima de los 3000 msnm, encontrando entre 20 y 30 taxones. La laguna INPA, Monsalve e Negra, mostraron diferencias en la composición de sus comunidades. INPA se diferencia claramente de las demás por ser un embalse y tener vegetación densa. Monsalve y Negra pueden diferenciarse posiblemente por un mayor contenido de materia orgánica y oxigenación, respectivamente. Las demás lagunas tuvieron una composición similar, debido probablemente a condiciones ambientales similares.

Referencias bibliográficas

Alba-Hincapié, Á. M., González-Rey, G., & 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

Allan, J. D., & Castillo, M. M. (2007). Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters (2nd ed.). Springer.

Álvarez, L. F., & Roldán P., G. (2017). Estudio del orden Hemíptera (Heteróptera) en el departamento de Antioquia en diferentes pisos altitudinales. Actualidades Biológicas, 12(44), 31–46. https://doi.org/10.17533/udea.acbi.330315

Amusan, B. O., Adeleke, S. O., & Koleosho, A. F. (2024). Assessment of the ecological status of an ancient reservoir using macroinvertebrate assemblage and water quality parameters. The Journal of Basic and Applied Zoology, 85, 32. https://doi.org/10.1186/s41936-024-00384-8.

Azevedo, L. B., van Zelm, R., Elshout, P. M. F., Hendriks, A. J., Leuven, R. S. E. W., Struijs, J., de Zwart, D., & Huijbregts, M. A. J. (2013). Species richness–phosphorus relationships for lakes and streams worldwide. Global Ecology and Biogeography, 22(12), 1304-1314. https://doi.org/10.1111/geb.12080.

Baird, R. B., Eaton, A. D., & Rice, E. W. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23rd ed.). Washington, DC: American Public Health Association.

Bartels, A., Céréghino, R., Van der Wal, J., & Jacobsen, D. (2021). Littoral macroinvertebrate communities of alpine lakes: patterns and drivers. Freshwater Biology, 66(5), 859–873. https://doi.org/10.1111/fwb.13704

Beck, M., O'Brien, C. J., Boersma, K. S., Hette-Tronquart, N., & Guérold, F. (2024). Effects of water nutrient concentrations on stream macroinvertebrate community stoichiometry: A large-scale study. Peer Community Journal, 4, e119. https://doi.org/10.24072/pcjournal.441.

Blon, W., Dendup, T., Dorji, C., & Wangdi. (2023). Diversity of aquatic beetles (Dytiscidae) along the altitudinal gradient and its relationship with physico-chemical parameters of water at Tashiding, Tsendagang and Gozhi Gewogs, Dagana, Bhutan. International Journal of Environment, 12(1), 61–78. https://doi.org/10.3126/ije.v12i1.52443

Boggero, A., Lods-Crozet, B., Free, G., & Füreder, L. (2006). Freshwater molluscs in high mountain lakes of the Eastern Alps (Austria): Relationship between environmental variables and lake colonization. *Journal of Limnology, 65*(1), 55–64. https://doi.org/10.4081/jlimnol.2006.55

Boulahbal, R., Zaanoune, L., Rouag, R., Mehdí, B., Sakraoui, R., Dadci, W., Hadiby, R., & Sakraoui, F. (2022). Biodiversity of macroinvertebrates in a stream of Mount Edough (northeastern, Algeria). Uttar Pradesh Journal of Zoology, 43(14), 36–43. https://doi.org/10.56557/upjoz/2022/v43i143107

Caicedo Bolaños, L. P., & Núñez Burgos, M. Á. (2021). *Monitoreo a la calidad del agua mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores en el río Guachicos del municipio de Pitalito, Huila*. Repositorio UNAD.

Castão-Uribe, C. (2002). *Páramos y ecosistemas altoandinos de Colombia en condición hotspot & global climatic tensor*. Bogotá: Ministerio del Medio Ambiente / PNUD-Ideam.

Castellanos, M., & Serrato, C. (2008). *Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en un nacimiento de río en el páramo de Santurbán, Norte de Santander*. *Revista de la Academia*

Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 32(122), 79–86. https://doi.org/10.18257/raccefyn.32(122).2008.2232

Castillo-Figueroa, D., Garzón-Salamanca, L. L., & Albarracín-Caro, J. F. (2018). Aquatic macroinvertebrates as water quality bioindicators in Colombia: A systematic review. Neotropical Biology and Conservation, 13-(3), 235–248.

Clarke, K. R. (1993). *Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure*. *Australian Journal of Ecology*, 18, 117-143.

Chao, A., Gotelli, N. J., Hsieh, T. C., Sander, E. L., Ma, K. H., Colwell, R. K. & Ellison, A. M. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: A framework for sampling and estimation in species diversity studies. Ecological Monographs, 84(1), 45–67. https://doi.org/10.1890/130133.1

Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB). (2013). *Documento técnico — Parque Natural Regional Páramo de Santurbán: Estado actual y plan de manejo*. Bucaramanga: CDMB. Recuperado de https://www.cdmb.gov.co/images/documentos/institucional/areas_protegidas/Doc%20Tecnic%20PNR%20Santurban%20Ene%202013.pdf

Damborenea, C., Thorp, J. H., & Rogers, D. C. (Eds.). (2020). *Thorp and Covich's freshwater invertebrates* (4.ª ed., Vol. V: Keys to Neotropical and Antarctic Fauna). Academic Press. https://doi.org/10.1016/C2015-0-01546-5

Dexter, E., Rollwagen-Bollens, G., & Bollens, S. M. (2018). *The trouble with stress: A flexible method for the evaluation of nonmetric multidimensional scaling*. *Limnology and Oceanography: Methods*. https://doi.org/10.1002/lom3.10257

Díaz-Granados Ortiz, M. A., Navarrete González, J. D., & Suárez López, T. (2005). Páramos: Hidrosistemas sensibles. Revista de Ingeniería, (22), 64–75.

Domínguez, E., & Fernández, H. R. (Eds.). (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo.

Dou, Q., Du, X., Cong, Y., Wang, L., Zhao, C., Song, D., Liu, H., & Huo, T. (2022). Influence of environmental variables on macroinvertebrate community structure in Lianhuan Lake. *Ecology and Evolution, 12*(2), e8553. https://doi.org/10.1002/ece3.8553.

Encina-Montoya, F., Camarero, L., Bartolomé, L., & Ventura, M. (2021). Factors influencing the distribution of freshwater mollusks in the lakes of the Pyrenees: Implications in a shifting climate scenario. *Diversity, 13*(6), 243. https://doi.org/10.3390/d13060243

Encina-Montoya, F., Camarero, L., & Ventura, M. (2023). Responses of benthic macroinvertebrate communities of two tropical, high-mountain lakes to climate change and deacidification. *Diversity, 15*(4), 500. https://doi.org/10.3390/d15040500

Escobar Gutiérrez, A. F., & Montoya Moreno, Y. (2019). "Los macroinvertebrados acuáticos y la calidad biológica del agua en una quebrada Andina, Antioquia-Colombia." Revista Politécnica, 15(29), 65-81.

Farías Chiquillo, A. P. (2018). Roles tróficos y biomasa de *Hyalella* sp., *Martiodrilus ecuadoriensis* y *Drilocrius iheringi* en una laguna del páramo Sumapaz, Colombia [Trabajo de grado, Universidad Jorge Tadeo Lozano]. Repositorio Institucional.

Gallo Sánchez, L. J., Flórez-Molina, M. T., & Parra-Sánchez, L. N. (2014). Reconstrucción de las concentraciones de materia orgánica y nutrientes mediante espectrometría y análisis de diatomeas en tres embalses de Antioquia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 38(149), 409–416. https://doi.org/10.18257/raccefyn.67

Garavito Rincón, L. N. (2015). *Los páramos en Colombia, un ecosistema en riesgo*. **Ingeniare** (Universidad Libre–Barranquilla), **11**(19), 127–136. https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.19.530

Gavilán Díaz, R. A. (2000). *Las comunidades bentónicas y perifíticas como base para la evaluación de los sistemas hídricos lóticos del área de jurisdicción de la CDMB* (Convenio Interadministrativo 3120-08). Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga & Universidad Industrial de Santander.

Glasby, C. J. (2021). Diversity and adaptations of annelids in extreme aquatic environments. Diversity, 13(7), 302. https://doi.org/10.3390/d13070302Gómez Duque, A. S. (2012). *Evaluación de la calidad ecológica del agua usando macroinvertebrados acuáticos en la parte alta y media de la cuenca del Río Felidia, Valle del Cauca-Colombia*. Trabajo de grado, Universidad Autónoma de Occidente.

Gómez Hernández, S. J., & Salazar Santana, C. M. (2015). *Abundancia y biomasa de macroinvertebrados en relación de cuatro tipos de sustratos y de variables fisicoquímicas en la laguna La Virginia, Páramo de Sumapaz* [Tesis de maestría]. Repositorio Expeditiorepositorio Utadeo.

Gómez, S., Salazar, C., & 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. https://doi.org/10.21068/C2016v17s02a02

Guerrero-Jiménez, C. J., Cárcamo-Tejer, V., Vila Pinto, I., Sáez-Arteaga, A., & Llanquín-Rosas, F., et al. (2024). Benthic macroinvertebrates community structure and physical-chemical characteristics at Lauca River Basin high altitude wetlands, Altiplano, Chile. *Limnetica*.

Hankel, G. E. (2023). Diversity, distribution and ecology of Hyalella (Crustacea: Amphipoda: Hyalellidae) in peatlands of the Puna and Altos Andes ecoregions, NW Argentina. (2013–2017 field study). CONICET repository.

Hartman, R., Sherman, S., Contreras, D., Furler, A. & Kok, R. (2019). *Characterizing macroinvertebrate community composition and abundance in freshwater tidal wetlands of the Sacramento–San Joaquin Delta*. *PLoS ONE, 14*(11), e0215421. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215421

Henao-Henao, M. A. (2021). Variabilidad en la estructura de la comunidad de los macroinvertebrados acuáticos y calidad de agua en ríos afluentes a los embalses Punchiná y San Lorenzo en el periodo 2010–2018 [Tesis de grado]. Universidad de Córdoba, Repositorio Institucional.

Herrera-Martínez, Y., Pimiento-Ortega, M. G., Prat, N., Castiblanco Rodríguez, N. Y., & González Martínez, Y. L. (2023). Distribución vertical de la diversidad beta de macroinvertebrados en un lago oligotrófico de alta montaña neotropical. Acta Biológica Colombiana, 28(2), 283–292. https://doi.org/10.15446/abc.v28n2.104229

Karpowicz, M., & Ejsmont-Karabin, J. (2018). Influence of environmental factors on vertical distribution of zooplankton communities in humic lakes. Annales de Limnologie – International Journal of Limnology, 54, Article 17. https://doi.org/10.1051/limn/2018004

Kane, Z. A., Duda, M. P., Simmatis, B., & Smol, J. P. (2024, 6 de noviembre). Seabird inputs drive changes in Cladocera assemblages in freshwater ponds. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 81(12), 1634–1649. https://doi.org/10.1139/cjfas-2024-0063

Leal, C. (2020). Introducción: Visita guiada por algunos fragmentos de nuestro pasado (pp. xiii–xxx). En C. Leal (Ed.), Fragmentos de historia ambiental colombiana (pp. xiii–xxx). Bogotá, Colombia: Ediciones Uniandes. https://doi.org/10.30778/2019.85

Logue, J. B., Langenheder, S., Andersson, A. F., Bertilsson, S., Drakare, S., Lanzén, A., & Lindström, E. S. (2011). *Freshwater bacterioplankton richness in oligotrophic lakes depends on nutrient availability rather than on species–area relationships*. ISME Journal, 6(6), 1127–1136. https://doi.org/10.1038/ismej.2011.184

Lopes-Lima, M., Teixeira, A., Froufe, E., Lopes, A. & Varandas, S. (2014). Biology and conservation of freshwater bivalves: past, present and future perspectives. Hydrobiologia, 737(1), 103–150. https://doi.org/10.1007/s10750-014-1902-9

Marquez, A., & Guillot, J.-F. (2001). Impacto ecológico del control de ríos por embalses: diferenciación de comunidades antes y después del represamiento. En: Taller FAO sobre Ecología y manejo de peces en embalses y lagos. FAO.

Meza-Sánchez, M., & Roldán, G. (1986). Estudio limnológico de algunas lagunas del departamento de Antioquia (Colombia). Caldasia, 15(71–75), 355–381.

Meza-Sánchez, A. M., Rubio-Montoya, J., Díaz-Gómez, L., y Walteros-Jaramillo, J. M. (2012). Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná. Caldasia, 34(2), 443–456. https://doi.org/10.15446/caldasia

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible — Programa Almorzadero. (2016). *Recomendación para la delimitación — Páramo de Almorzadero: Documento final*. Bogotá: MinAmbiente. Recuperado de https://almorzadero.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/07/Almorzadero_Final_.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s. f.). *Protocolo / Estado actual — Delimitación del Páramo de Santurbán*. Recuperado de la documentación del Programa Santurbán.

Montoya Moreno, Y. (2007). *Colonización de sustratos rocosos por los macroinvertebrados acuáticos en la quebrada Los Andes, El Carmen de Viboral, Antioquia, Colombia.* Universidad Católica de Oriente.

Mosquera Restrepo, D., & Peña Salamanca, E. J. (2019). "Ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos y su relación con variables fisicoquímicas en un río de montaña en Valle del Cauca, Colombia." Revista de Biología Tropical, 67(6).

Morales, M., Otero, J., van der Hammen, T., Torres, A., Cadena-Vargas, C., Pedraza, C., Rodríguez, N., Franco, C., Betancourth, J. C., Olaya, E., Posada, E., & Cárdenas, L. (2007). Atlas de páramos de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C. 208 p.

Moreno, A. R. (2018). Evaluación del riesgo de eutrofización del embalse El Quimbo. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 42(164), 201–210. https://doi.org/10.18257/raccefyn.1641

Nelson, C. E., & Carlson, C. A. (2011). Differential response of high-elevation planktonic bacterial community structure and metabolism to experimental nutrient enrichment. PLoS ONE, 6(3), e18320. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018320

Nuñez, J. C., y Fragoso-Castilla, P. J. (2019). *Uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de contaminación del agua de la Ciénaga Mata de Palma (Colombia).* Información Tecnológica, 30(5), 319-330. https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000500319

Palma, A. (2013). *Guía para la identificación de invertebrados acuáticos* (1.ª ed., 122 pp.).

Peeters, E. T., Gylstra, R., & Vos, J. H. (2004). Benthic macroinvertebrate community structure in relation to food and environmental variables. *Hydrobiologia, 519*, 103–115. https://doi.org/10.1023/B:HYDR.0000026497.48827.70

Posada-García, J. A., Abril-Ramírez, G., & Parra-Sánchez, L. N. (2008). *Diversidad de los macroinvertebrados acuáticos del páramo de Frontino (Antioquia, Colombia)*. *Caldasia*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias Naturales.

Prieto-Rodado, O. J. (2022). *Macroinvertebrados acuáticos presentes en la quebrada El Neme, Ecoreserva La Tribuna, Huila - Colombia.* Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Oksanen, J., Simpson, G. L., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., … Szoecs, E. (2025). *vegan: Community Ecology Package* (versión 2.7-1) [Paquete de software]. CRAN. DOI: 10.32614/CRAN.package.vegan

Oleksy, I. A., Baron, J. S., Leavitt, P. R., & Spaulding, S. A. (2020). Nutrients and warming interact to force mountain lakes into unprecedented ecological states. Proceedings of the Royal Society B, 287(1930), 20200304. https://doi.org/10.1098/rspb.2020.0304

Ramírez Caballero, A. M., & Plata-Díaz, Y. (2008). *Diatomeas perifíticas en diferentes tramos de dos sistemas lóticos de alta montaña (páramo de Santurbán, Norte de Santander, Colombia) y su relación con las variables ambientales*. **Acta Biológica Colombiana**, **13**(1), 199–216. Recuperado de https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/22700

Rautio, M., Dzialowski, A. R., & Vinebrooke, R. D. (2010). Effects of ultraviolet radiation on freshwater invertebrates. Aquatic Ecology, 44(1), 1–25. https://doi.org/10.1007/s10452-009-9257-2

Relación Humano-Ambiental en el Páramo de Santurbán — Universidad Industrial de Santander (Informe). (2019). Bucaramanga: UIS. Recuperado de

https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/fef463b5-14bf-429f-b1de-932e3bf620ed/content

Rideout, R. M., et al. (2022). Environmental filtering of macroinvertebrate traits influences ecosystem functioning in a large river floodplain. Functional Ecology, 36, (estudio que muestra alta riqueza funcional pero baja equidad en comunidades asociadas a macrófitas)

Roldán Pérez, G. (1996). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Bogotá, Colombia: Fondo FEN Colombia; COLCIENCIAS; Universidad de Antioquia

Roldán-Pérez, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP/Col. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia. 170 p.

Roldán-Pérez, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 40(155), 254–274. https://doi.org/10.18257/raccefyn.335

Romero Martínez, I. A. (2021). *Análisis de cambios de uso y cobertura del suelo en el páramo de Santurbán durante un periodo de 20 años* [Tesis de maestría, Universidad de los Andes]. Repositorio Institucional Universidad de los Andes. https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/790d8c1f-e788-425a-8721-31cda14c0aca

RStudio Team. (2016). RStudio: Integrated Development for R. Boston, MA: RStudio, Inc.

Rubio, J. M., Meza-Sánchez, A. M., y Gomes Dias, L. (2016). *Colonización de macroinvertebrados acuáticos en hojas de Miconia sp. y Eucalyptus sp. en la subcuenca alta*

del río Chinchiná, Colombia. Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural, 20(2), 45-56. https://doi.org/10.17151/bccm.2016.20.2.4

R Core Team. (2025) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. https://www.r-project.org/

Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2022). *Generación de conocimiento hidrogeológico del Páramo de Santurbán* (Informe de resultados). Bogotá: SGC. Recuperado de https://www2.sgc.gov.co/Noticias/Paginas/Generacion-conocimiento-hidrogeologico-Paramo-Santurban.aspx

Steinhaus, E. (1938). Zur Methodik der Vogelfaunaanalyse [Cited as original formulation of Bray–Curtis].

Soininen, J., McDonald, R., & Hillebrand, H. (2007). The distance decay of similarity in ecological communities. Ecography, 30, 3–12. https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2007.04817.x

Surber, H.B. (1937). A quantitative method for sampling stream bottom organisms. Cecil C. Schlesinger (ed.), Proceedings of the Sixth International Congress of Zoology.

Tapia, L., Sánchez, T., Baylón, M., Jara, E., Arteaga, C., Maceda, D., & Salvatierra, A. (2018). *Invertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua en Lagunas Altoandinas del Perú*. Ecología Aplicada, 17(2), 149-163. https://doi.org/10.21704/rea.v17i2.1235

The Nature Conservancy. (2025). *Páramos de Colombia: Cambio de cobertura vegetal y su potencial de mitigación del cambio climático* [Archivo PDF]. Recuperado de https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/photos/latin-america/paramos-de-colombia-cambio-de-cobertura-vegetal-y-su-potencial-de-mitigaci%C3%B3n-the-nature-conservancy-espa%C3%B1ol.pdf

Tomanova, S., Goitia, E., & Helešic, J. (2006). Trophic levels and functional feeding groups of macroinvertebrates in Neotropical streams. Hydrobiologia, 556(1), 251–264. https://doi.org/10.1007/s10750-005-1255-5

U.S. National Park Service. (2015, 12 de mayo). *Aquatic macroinvertebrates – Ecological Role*. https://www.nps.gov/articles/aquatic-macroinvertebrates-ecological-role.htm

Wallace, J. B., & Webster, J. R. (1996). *The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function*. Annual Review of Entomology, 41, 115-139.

Walteros Rodríguez, J. M., y Castaño Rojas, J. M. (2020). *Composición y aspectos funcionales de los macroinvertebrados acuáticos presentes en una microcuenca de cabecera en los Andes de Risaralda, Colombia.* Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 44(171), 581-592. https://doi.org/10.18257/raccefyn.1085

Wollmann, K. Corixidae (Hemiptera, Heteroptera) in acidic mining lakes with pH ≤3 in Lusatia, Germany. *Hydrobiologia* **433**, 181–183 (2000). https://doi.org/10.1023/A:1004051629258

Wu, et al. (2015). Macroinvertebrate responses to regime shifts caused by eutrophication in subtropical shallow lakes. Freshwater Science, 34(3), shows the decline of diversity with eutrophication and macrophyte loss

Apéndices

Apéndice A

Coordenadas, elevación y municipio de las lagunas muestreadas en el complejo de páramo Santurbán-Almorzadero.

Puntos de muestreo	Latitud	Longitud	Altitud	Municipio
Laguna Monsalve	7,4282	-72,90320278	3591	Suratá
Laguna Las Negras (Vda. Ortegón)	7,273916667	-72,88280556	3787	Vetas
Laguna El Alto	7,295083333	-72,85241667	3781	Vetas
Laguna Seca	7,29125	-72,86663889	3741	Vetas
Laguna La Larga	7,349861111	-72,86122222	3800	Vetas
Laguna Las Calles	7,333611111	-72,84547222	3520	Vetas
Laguna La Negra (Vda. El Centro)	7,339611111	-72,84488889	3690	Vetas
Laguna Las Cruces	7,358305556	-72,85438889	3822	Vetas
Laguna Cuntas	7,289138889	-72,87102778	3626	Vetas
Laguna Páez	7,37675	-72,86547222	3386	Vetas
Laguna Pajarito	7,332833333	-72,86616667	3381	Vetas
Laguna La Barrosa	7,357861111	-72,84836111	3575	Vetas
Laguna La Pintada	7,359777778	-72,84033333	3752	Vetas
Laguna El Plan	7,362722222	-72,84372222	3852	Cucutilla
Laguna La Negrita	7,363166667	-72,84338889	3740	Cucutilla
Embalse INPA	7,185105556	-72,86941667	3301	Tona

Apéndice B

Abundancia total de los taxones de macroinvertebrados acuáticos encontrados en las 16 lagunas muestreadas en el complejo de páramo Santurbán-Almorzadero.

Localidad	Abundancia	% abundancia	Acariformes	Hyalella	Diplostraca	Chironominae	Corixidae	Dasyhelea	Dytiscidae	Helobdella	Micronectidae	Orthocladiinae	Tanypodinae	Biomphalaria	Physa	Sphaeriidae	Clitellata
Plan	35	0,76	2	1	0	13	0	1	0	2	0	3	7	0	0	0	4
Cruces	142	3,07	4	43	0	33	0	16	0	3	0	4	13	1	0	1	12
Larga	836	18,05	0	191	440	36	0	27	1	26	0	4	24	0	37	26	2
Negras	208	4,49	54	64	19	22	2	1	2	0	0	15	4	0	1	0	2
Alto	514	11,10	5	244	3	10	156	0	2	3	13	22	26	0	11	0	0
Pintada	310	6,69	1	238	0	15	2	6	6	16	0	0	12	0	0	1	4
Seca	516	11,14	9	317	11	12	9	4	7	9	0	17	73	14	2	9	0
Negrita	193	4,17	10	112	4	11	0	2	3	13	0	0	13	0	0	0	8
Negra	119	2,57	40	0	0	12	0	19	27	5	0	4	3	0	0	0	5
Cuntas	494	10,67	3	214	20	90	14	0	0	1	0	4	28	91	0	0	2
Monsalve	213	4,60	7	5	0	11	82	7	21	0	0	21	44	0	1	1	1
Barrosa	54	1,17	1	5	0	4	0	9	3	4	0	9	3	0	0	0	2
Calles	190	4,10	24	20	0	41	0	2	0	10	0	2	16	5	53	1	7
Páez	253	5,46	0	1	0	27	33	0	3	7	119	12	5	1	5	12	6
Pajarito	118	2,55	2	9	6	28	0	0	4	17	0	11	14	6	2	11	1
INPA	436	9,41	0	282	0	20	1	0	1	0	0	6	0	3	56	18	2

Apéndice C

Valores de nutrientes y las variables fisicoquímicas tomadas *in situ* en el complejo de páramo Santurbán-Almorzadero.

Variable	Unidad	Método de análisis	Laguna El Alto	Laguna Monsalve	Laguna Páez	Laguna La Larga	Laguna La Pintada	Laguna La Barrosa	Laguna Las Cruces	Laguna El Plan	Laguna La Negra	Laguna Las Calles	Laguna Pajarito	Laguna Cuntas	Laguna Seca	Laguna Las Negras	Laguna La Negrita
Temperatura	°C	SM 2550 B	10,2	11,2	10,4	10,7	9	8,8	9,8	9,4	11,2	11,8	10,4	11,3	19,6	10,3	10,3
pH	unidad pH	SM 4500-H B	5,71	6,5	6,56	6,1	7,56	6,91	5,7	7,4	6,05	6,29	6,25	6,09	7,3	7,44	7,27
Oxígeno Disuelto	mg/L OD	SM 4500 - O C	6,38	7,92	7,7	8,52	7,6	7,4	7,38	8,4	7,04	7	7,9	6,78	8,18	6,48	8,2
Turbidez	UNT	SM 2130 B	1,67	1,36	0,94	0,62	0,87	0,68	1,28	0,81	1,79	0,97	1,23	1,14	78	2,2	1
Color	UPC	SM 2120 C	75	24	7	38	0	7	57	16	4	24	2	12	1,87	115	0
Conductividad	µS/cm	SM 2510 - B	2,64	0,2	0,43	0.23	0,12	0,23	0,21	0,12	0,26	0,19	0,34	0,04	0,2	3,94	0,13
Salinidad	%NaCl	SM 2520 - B	0,1	0,1	0,23	0,1	0,34	0,45	0,32	0,13	0,24	0,24	0,65	0,45	0,2	0,1	0,1
DQO	mg/L O2	SM 5220 D	125	178	59	75	<0,1	98	<0,1	100	< 0,1	194	367	<0,1	255	35	220
DBO5	mg/L O3	SM 5210 B	75	89	25	40	<0,1	43	<0,1	49	<0.1	160	178	<0,1	369	144	100
Solidos Suspendidos Totales	mg/L SS	SM 2540 D	65	0,09	20	0,19	23	32	197	11	230	0,13	56	0,16	0,19	0,03	23
Solidos totales	mg/L ST	SM 2540 - B	1770	230	45	0,2	45	98	300	24	310	0,32	87	0,38	1760	570	45
Solidos sedimentables	mg/L SD	SM 2540 - F	< 0,1	0,1	0,1	<0,01	0,1	0,1	<0,1	0,1	0,2	< 0,01	0,1	<0,1	0,3	< 0,1	0,1
Grasas y aceites	mg/L	SM 5220 D	0,8	2,1	<0,1	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,7	3,1	0,7	<0,1
Hidrocarburos	ppm TPH	ASTM D 5134-98	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Nitritos	mg/L NO2	SM 4500 NO2-B	3,2	17	1,4	2,4	2,1	3,4	2,6	1,3	2,6	3,2	14,3	3,4	2,1	23	1,2
Nitratos	mg/L NO3	SM 4500-NO3-C	3,1	4,8	2,2	2,1	1,3	2,3	2,7	2,1	2,5	2,4	11,4	2,1	3,7	4,4	1,5
Nitrógeno	mg/L N	SM 4500 Org D	6,7	3,6	3,8	5,9	4,6	5,8	5,3	3,6	4,1	6,6	34,5	7,8	6,2	3,2	3,8
Fosfatos	mg/L PO4	SM 4500 P C	2,9	1,6	1,5	0,38	3,6	3,5	0,59	1,5	0,53	1,34	4,6	1,23	0,49	0,7	1,8
Fosforo total	mg/L P	SM 4500-P E	4,1	2,8	3,6	1,32	3,4	9,8	2,24	2,6	3,1	2,78	7,8	2,34	0,51	1,5	2,9
Ortofosfatos	mg PO4-3/L	SM 4500-P B, E	0,2	0,17	0,19	0,19	0,17	0,2	0,11	0,18	0,13	0,13	0,2	0,22	0,17	0,23	0,11
Potasio	mg/L K	SM 3500 - K B	1,7	1,6	1,7	2,4	1,3	4,5	3,1	1,3	2,3	1,87	3,5	1,6	2,1	1,2	1,9
Fenoles Totales	mg/L	SM 5530 C y D	58	73	52	52	35	65	42	32	45	49	48	47	44	56	0,04
Mercurio Total	mg Hg/L	SM 3114 C	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
C Totales	UFC/100 ml	SM 9222 J	640	980	660	660	80	90	390	56	110	230	670	340	820	460	390
C Fecales	UFC/100 ml	SM 9222 J	0	40	64	64	0	36	0	10	0	0	80	0	0	0	0