

Grupos Funcionales Alimenticios de macroinvertebrados en la quebrada El Santuario, Tausa, Cundinamarca

Functional Feeding Groups of macroinvertebrates in El Santuario Stream, Tausa, Cundinamarca

Gabriel Francisco Pumarejo C.¹ <https://orcid.org/0009-0006-4621-1438>,
Mónica Andrea Castillo-Aguilar² <https://orcid.org/0000-0002-3247-9883>

¹ Facultad de Ciencias, Programa de Biología, Universidad El Bosque, Bogotá – Colombia

² Grupo de Investigación en Biología GRIB, Universidad El Bosque, Bogotá – Colombia

Recibido: Marzo 15 de 2025

Aceptado: Mayo 26 de 2025

*Correspondencia del autor: Gabriel Francisco Pumarejo

E-mail: gpumarejo@unbosque.edu.co

<https://doi.org/10.47499/revistaaccb.v1i37.326>

Resumen

Introducción: En Colombia es común el nacimiento de fuentes hídricas que se originan en los sistemas de alta montaña, dichos sistemas se encuentran próximos a algunos asentamientos humanos lo que causa estrés ambiental, por ende, los organismos que habitan en estos ambientes se ven afectados. **Objetivo:** Identificar los Grupos Funcionales Alimenticios (GFA) de macroinvertebrados acuáticos presentes en la Reserva El Santuario: quebrada El Santuario (Tausa-Cundinamarca). **Materiales y métodos:** Se midieron las variables fisicoquímicas de pH, oxígeno disuelto (mg/L), temperatura (°C) y caudal (m³/s) con tres repeticiones en 5 estaciones, posteriormente se realizaron muestreos de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en cada estación, utilizando red Surber (220 µm) y recolección manual. Las mediciones de las variables fisicoquímicas y las recolectas se efectuaron entre los meses de febrero a agosto de 2022. Los Grupos Funcionales Alimenticios fueron asignados mediante información secundaria una vez se identificó hasta el nivel de familia y/o género. **Resultados:** Se determinaron 8 Grupos Funcionales Alimenticios (GFA), el grupo de los Colectores-Fragmentadores fue el más abundante (26.25 – 55.11%), las estaciones con mayor número de GFA fueron las aguas intermedias y aguas abajo (estaciones 3 y 5), de forma contraria, la estación que presentó menor número de GFA, fue aguas arriba, la más cercana al nacimiento del sistema. **Conclusiones:** La presencia de los grupos Colector-Fragmentador y Colectores reflejan la presencia de MOPF en el ecosistema acuático asociadas a cambios del caudal, generando un efecto en las variables fisicoquímicas lo que favorece la abundancia de estos grupos.

Palabras clave: Agua superficial, Caudal, Colectores, Colectores-fragmentadores, Ecología acuática, Limnología, Páramo. (*Tesaurus ambiental marino-costero INVEMAR*)

Abstract

Introduction: In Colombia, it is common for water sources to originate in high mountain systems. These systems are often located near human settlements, which causes environmental stress; consequently, the organisms inhabiting these environments are affected. **Objective:** To identify the Functional Feeding Groups (FFG) of aquatic macroinvertebrates present in Reserva El Santuario: Quebrada El Santuario (Tausa–Cundinamarca). **Materials and Methods:** Physicochemical variables such as pH, dissolved oxygen (mg/L), temperature (°C), and flow rate (m³/s) were measured with three replicates at five sampling stations. Subsequently, sampling of the aquatic macroinvertebrate community was carried out at each station using a Surber net (220 µm) and manual collection. Measurements of physicochemical variables and biological sampling were conducted between February and August 2022. The Functional Feeding Groups were assigned based on secondary information once taxa were identified to the family and/or genus level. **Results:** Eight Functional Feeding Groups (FFG) were identified. The Collector–Shredder group was the most abundant (26.25–55.11%). The stations with the highest number of Functional Feeding Groups were the midstream and downstream sites (stations 3 and 5), while the upstream station, located closest to the system’s source, exhibited the lowest number of FFGs. **Conclusions:** The presence of Collector–Shredder and Collector groups reflects the availability of fine particulate organic matter (FPOM) in the aquatic ecosystem, associated with flow variations that influence physicochemical parameters, thereby favoring the abundances observed in these groups.

Keywords: Aquatic ecology, Collectors, Collector–shredders, Flow rate, Surface water, Limnology, Paramo. (IN- VEMAR marine–coastal environmental thesaurus).

Introducción

Colombia es un país que presenta diferentes recursos hídricos y un porcentaje significativo de ellos se origina en los sistemas montañosos, específicamente en los ecosistemas de páramos. Estos ecosistemas exclusivos de las altas montañas neotropicales se localizan entre el límite superior de la vegetación boscosa (3200 a 3800 msnm) y el límite inferior de las nieves perpetuas (4400 a 4700 msnm) (1- 4). Los páramos definidos por la presencia de vegetación herbácea, presencia de matorrales y excepcionalmente algunos árboles achaparrados (5, 6), presenta suelos con una capa gruesa de materia orgánica, y periodos climáticos contrastantes diarios con días soleados de alta radiación solar intensa y noches con bajas temperaturas y alta humedad. Además, son conocidos por cumplir un papel fundamental en el almacenamiento, recarga de acuíferos y el nacimiento de cuencas que abastecen a los asentamientos humanos (7, 8).

Los páramos se han visto ampliamente afectados producto de diversos procesos de degradación, dando como resultado un deterioro en los ciclos naturales que regulan los regímenes hídricos, afectando los periodos de estiaje, causando que estos sean más prolongados y se generen crecientes mayores. Dentro de los principales factores a los que se le atribuye el deterioro de estos sistemas están la intensificación de la agricultura (con

el uso de abonos y herbicidas) y, procesos ganaderos y mineros, entre otros (9). Debido a estas actividades los ecosistemas acuáticos que se encuentran próximos a las zonas donde se llevan a cabo, han sufrido estrés ambiental. De igual manera, los productos orgánicos provenientes de vertimientos urbanos disminuyen el contenido de oxígeno, ayudando al aumento de la producción de sustancias tóxicas (10).

Esto sumado a su particular morfología con pendientes pronunciadas, una alta heterogeneidad del sustrato de las quebradas de alta montaña (11) y, una alta sensibilidad y dependencia de la cobertura vegetal del paisaje local, han generado que los cambios locales produzcan impacto en los procesos de retención, reserva y flujo de agua (12-14). Estos cuerpos de agua se ven fuertemente influenciados por los cambios en la dinámica hídrica en los tramos de cabecera, el flujo superficial y las descargas de aguas subterráneas, de igual manera, la biota asociada a estos ecosistemas acuáticos se ve ampliamente afectada debido a cambios en la temperatura del agua, la cual al originarse en alta montaña es fría y normalmente bien oxigenada (15). Igualmente, los cambios de la cobertura riparia producto de la degradación vegetal ribereña, la cantidad de sedimentos presentes en los cuerpos de agua y las entradas puntuales de contaminantes generan impactos y cambios rápidos en las concentraciones de comunidades de macroinvertebrados acuáticos (15, 14).

Los macroinvertebrados son una de las comunidades que se encuentran presentes en los cuerpos de agua. Este grupo cumple funciones importantes en los procesos de transformación de la materia orgánica fina y gruesa presente en el agua, dando como resultado que los macroinvertebrados acuáticos se conviertan en un componente esencial en la dinámica y el funcionamiento de los cuerpos de agua (16). Por tanto, es necesario realizar monitoreos de este grupo de organismos que aportan a la determinación de la calidad biológica del agua y el estado de los ecosistemas. Cuando estos ecosistemas acuáticos se ven afectados por procesos de contaminación, la disponibilidad de la materia orgánica de la cual se alimentan se ve alterada junto con las condiciones óptimas para algunas de las familias que pertenecen a este grupo. Estas condiciones son indicadoras de procesos físicos y químicos presentes en el agua, permitiendo entender la calidad biológica (17).

Una de las funciones que desarrollan estos organismos es la transformación de la materia orgánica presente en el agua, esta puede ser tanto fina como gruesa, convirtiendo a este grupo en una pieza fundamental para la dinámica y funcionamiento de los ríos. Producto de di-

ferentes factores como lo son las adaptaciones a sus hábitats y sus estrategias alimenticias, entre otras, los macroinvertebrados acuáticos han desarrollado diversas adaptaciones morfológicas, permitiendo que sean clasificados en diferentes grupos. La presente investigación tiene como objetivo analizar la variación temporal de los grupos funcionales alimenticios (GFA) de macroinvertebrados acuáticos presentes en La Reserva El Santuario: quebrada El Santuario (Tausa-Cundinamarca).

Materiales y métodos

Área de estudio. El estudio fue realizado en la quebrada “El Santuario”, ubicada en el área rural del municipio de Tausa, en el departamento de Cundinamarca, específicamente en la vereda San Antonio, atravesando la propiedad “Reversa Minas El Santuario” en el Complejo de Páramo de Guerrero (Figura 1). Esta área cuenta con una mina de carbón que presentó actividad de extracción por 40 años y desde el año 2015 se detuvo esta actividad. La Reserva Minas El Santuario consta de un área de 49 hectáreas de terreno de alta montaña, presenta una humedad relativa de 80 a 90% y una temperatura promedio de 8°C.

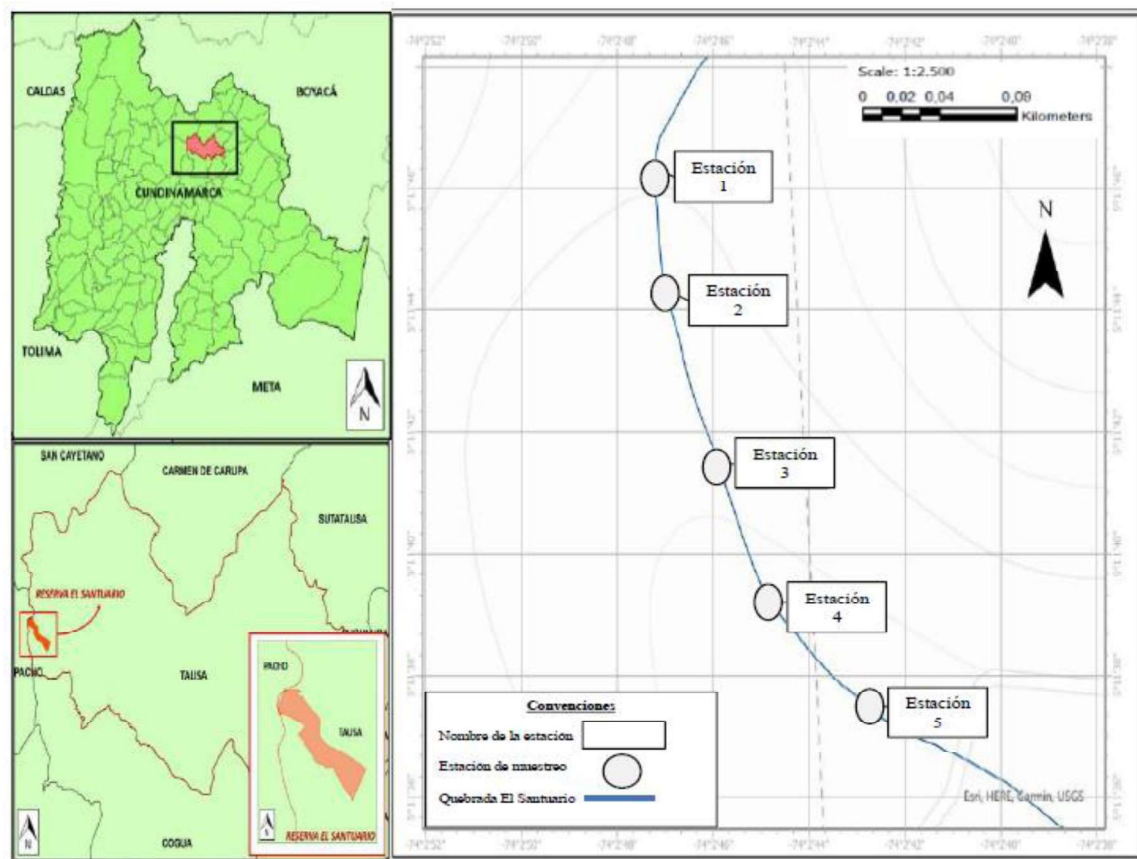


Figura 1. Área de estudio del departamento de Cundinamarca, municipio de Tausa, quebrada El Santuario. Mapa tomado de: Pumarejo Cruz, G (2022) (18).

Diseño de muestreo. Se tomaron las variables físico-químicas de la quebrada correspondientes a: pH, con equipo de medición de pH digital (Rohs PH-009IA); oxígeno disuelto (mg/L) y temperatura (°C) utilizando un medidor de oxígeno disuelto y temperatura (YSI 55-12 FT); caudal (m^3/s) mediante el cociente entre la velocidad promedio del caudal en un tramo definido y el área calculada como la profundidad promedio y el ancho, con tres repeticiones en cada estación.

La recolección de los macroinvertebrados acuáticos se llevó a cabo utilizando los métodos de muestreo de red Surber (220 μm) y recolección manual. El método de muestreo por red Surber se empleó contra corriente en tres puntos a lo largo de cada estación durante cinco minutos, se removió el sustrato presente en el marco de la red utilizando una vara de madera. El sedimento resultante de este proceso fue dispuesto en frascos plásticos con alcohol etílico al 70%. Para el método de recolección manual se tomaron los individuos que se encontraron presentes en diferentes sustratos como piedras y material vegetal suelto con la ayuda de pinzas entomológicas de punta fina y pinceles 000, los organismos encontrados se preservaron en frascos plásticos con alcohol al 70%. Dicho método se aplicó a lo largo de un transecto de 5 metros establecido a lo largo del cuerpo de agua (19). La recolección se realizó en la temporada de transición de lluvias a temporada seca.

La limpieza del sedimento obtenido se realizó utilizando tamices con orificios de malla de 90, 250 y 300 μm . El material resultante fue dispuesto en cajas plásticas para su posterior revisión en el estereoscopio. Los or-

ganismos encontrados fueron dispuestos en líquido preservante (alcohol etílico al 70%) para su identificación hasta en nivel taxonómico más específico con el apoyo de guías como: Merritt & Cummins (1996) (20), Roldán (1996) (21), Prat, González-Trujillo, & Ospina, (2014) (22), Posada- García, & Roldán-Pérez, (2003) (23). El material biológico recolectado fue depositado entre los códigos MCUB-R-MC-001848 hasta el MCUB-R-MC-001940 (92 registros) siguiendo las indicaciones del Manual de Métodos de la Colección de Macroinvertebrados Acuáticos del Museo de Ciencias de la Universidad El Bosque- MCUB, ubicado en la ciudad de Bogotá (24).

Grupos Funcionales Alimenticios (GFA). La asociación de los grupos funcionales alimenticios (GFA) se realizó mediante información secundaria usando trabajos propuestos por Tomanova *et al.*, (2006) (25), Chará-Serna *et al.*, (2010) (26), Grimaldo, (2004) (27), Meza & Rubio (2012) (28) y Currea (2006) (29). Los GFA se determinaron en las categorías (Figura 2): I) Colector: se alimentan de materia orgánica particulada, II) Fragmentador: se alimentan de materia orgánica gruesa, III) Depredador: se alimentan de tejido animal, IV) Recolector: se alimentan de materia orgánica particulada fina, V) Raspador: se alimentan de algas, VI) Triturador: se alimentan de materia orgánica particulada gruesa, VII) Colector-Recolector: se alimentan de materia orgánica particulada fina que se encuentra depositada en el sustrato, VIII) Colector-Fragmentador: se alimentan de materia orgánica particulada fina que se encuentra suspendida en la columna de agua (25-31).



Figura 2. Representantes de los Grupos Funcionales Alimenticios. A. Colectores (Chironomidae); B. Fragmentadores (Tipulidae); C. Depredadores (Rhyacophilidae); D. Recolectores (Simuliidae); E. Raspador (Cicadellidae); F. Triturador (Hypogastruridae); G. Colector-Recolector (Isotomidae); H. Colector-Fragmentador (Hyalellidae).

Análisis de datos. Para el análisis de los grupos funcionales alimenticios por meses y por estaciones se llevó a cabo gráficos de mosaicos y prueba de X_2 en el programa Rstudio versión 4.2.1.

Aspectos éticos

Los organismos fueron recolectados bajo el permiso otorgado por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) según la Resolución 0198 del 29 de febrero de 2016, modificada por la resolución 1470 de 2017.

Resultados

Parámetros fisicoquímicos del agua. A lo largo de la quebrada se registraron variaciones moderadas de los parámetros fisicoquímicos analizados. El pH mostró una tendencia ligeramente ascendente desde E1 (6.9) hasta E5 (7.6), lo que indica una leve transición de condiciones levemente ácidas a alcalinas. Entre las E2 y la E4 se presentó una estabilidad de (pH 7.4), lo que sugiere que el sistema tiene una capacidad amortiguadora de manera homogénea en estas estaciones (Tabla 1). Se presentó un incremento gradual de la temperatura desde la cabecera E1 (8.6 °C) hasta E4 (10.3 °C), seguido de una leve disminución en E5 (10.2 °C). Dicho compor-

tamiento refleja el efecto del gradiente morfológico del cauce y la incidencia de luz solar sobre el cuerpo de agua como una posible moderación térmica en los sectores de menor pendiente.

El caudal de la quebrada mostró un incremento progresivo desde la estación E1 (6.6 m³/s) hasta la E4 (14.9 m³/s). Este patrón indica una ganancia gradual en el volumen de agua a lo largo del curso superior, posiblemente asociada a la confluencia de pequeños afluentes o el ingreso de escorrentías. No obstante, entre las estaciones E4 y E5 se evidenció una reducción del caudal hasta 11.9 m³/s, atribuible a cambios en la morfología del cauce. Mientras las estaciones anteriores presentaron pendientes más pronunciadas y un flujo de mayor energía, la E5 se caracterizó por un relieve más plano, lo que favoreció una disminución en la velocidad y el volumen de agua transportado (Tabla 1).

El oxígeno disuelto (OD) aumento de manera progresiva desde E1 (4.4 mg/L) hasta E3 (6.2 mg/L), manteniéndose estable en las estaciones inferiores (E4: 6.1 mg/L y E5: 6.7 mg/L). Dicho incremento se asocia a una mayor turbulencia y aireación en los tramos medios, producto del incremento del caudal y la pendiente, favoreciendo los procesos de oxigenación del agua.

Tabla 1. Promedio mensual de las variables fisicoquímicas por estación, en la quebrada El Santuario, Reserva Minas El Santuario.

	Estaciones				
	E1	E2	E3	E4	E5
pH	6.9	7.4	7.4	7.4	7.6
T°C	8.6	9.0	9.8	10.3	10.2
Caudal (m³/s)	6.6	6.5	8.2	14.9	11.9
OD (mg/L)	4.4	5.9	6.2	6.1	6.4

Abundancias y diversidad de macroinvertebrados bentónicos encontrados

En total se recolectaron 2039 organismos, los cuales se encuentran distribuidos en 3 Phylum, 5 Clases, 13 Órdenes, 25 Familias y 18 Géneros. La mayor representatividad la presentó el Phylum Arthropoda (92.53%) el cual se encuentra compuesto por el orden Amphipoda con un 42.96%, la familia que mayor representatividad tuvo fue Hyalellidae (n=876). El segundo orden con mayor representatividad fue Diptera (37.27%), representado por las familias Chironomidae (n=557) con un 27.37% y la familia Psychodidae (n=143) con un 7.01%. El siguiente phylum más representativo fue Annelida con 6.13%, a lo largo de las 5 estaciones monitoreadas (Tabla 2).

Tabla 2. Abundancias de individuos por familias con determinación de GFA en cada estación de la quebrada El Santuario, Reserva Minas el Santuario.

Orden	Familia	GFA	Total
Amphipoda	Hyalellidae	Colector-Fragmentador	876
Diptera	Chironomidae	Colector	557
Diptera	Psychodidae	Colector-Recolector	143
Poduromorpha	Hypogastruridae	Triturador	115
Hirudinia	Glossiphoniidae	Detritívoro	113
Trichoptera	Helicopsychidae	Colector	50
Tricladida	Planariidae	Colector	31
Trichoptera	Leptoceridae	Colector	26
Diptera	Simuliidae	Recolector	22
Diptera	Tipulidae	Fragmentador	20
Diptera	Ceratopogonidae	Depredador	15
Tubificida	Tubificidae	Colector	12
Coleoptera	Scirtidae	Colector-Fragmentador	11
Trichoptera	Rhyacophilidae	Depredador	11
Poduromorpha	Poduridae	Colector-Recolector	9
Entomobryomorpha	Isotomidae	Colector-Recolector	6
	Acari	Depredador	4
Diptera	Tabanidae	Depredador	3
Lepidoptera	Geometridae	Fragmentador	2
Hemiptera	Cicadellidae	Raspador	1
Coleoptera	Curculionidae	Triturador	1

Grupos Funcionales Alimenticios (GFA). Se determinaron 8 Grupos Funcionales Alimenticios (GFA), donde el grupo de los Colectores-Fragmentadores fue el más abundante (26.25 – 55.11%) seguido de los Colectores (25.51 - 44.69 %) a lo largo de los meses de desarrollo del estudio, presentando variación en la presencia-ausencia de todos los grupos en los meses de febrero, abril, y julio (Figura 3). Específicamente para el mes de febrero el GFA con mayor porcentaje de abundancia fue Colectores con un 44.69%. Para los meses de abril a agosto el grupo más abundante fue Colectores-Fragmentadores con valores entre 44.16 a 53.64%, presentando las mayores abundancias. Los meses monitoreados presentaron diferencias significativas ($X^2 = 292.28$, $df = 28$, p -valor < 0.05).



Figura 3. Proporción de Grupos Funcionales Alimenticios entre los meses febrero a agosto del año 2022. Las barras acumulativas indican el porcentaje que presentó cada grupo a lo largo de cada mes. ($X^2 = p < 0.001$). Las abreviaturas corresponden a CI) Colectores-rosa, CI. Fr) Colectores- Fragmentadores-verde, CI. R) Colectores-Recolectores-celeste, Dp) Depredadores-aguamarina, Det) Detritívoros-fucsia, Frag) Fragmentadores-rojo, Rec) Recolectores-azul oscuro, y Trit) Trituradores-amarillo.

El GFA dominante en las estaciones 1 a 3 fue Colectores-Fragmentadores (36,3–72,5%), mientras que en las estaciones 4 y 5 predominó el grupo de los Colectores (56,4% y 65,8%). Las estaciones monitoreadas presentaron diferencias significativas ($X^2 = 1359.3$, $df = 28$, p -valor < 0.05) (Figura 4).



Figura 4. Proporción de Grupos Funcionales Alimenticios por estaciones. Las barras acumulativas indican el porcentaje que presentó cada grupo en cada estación. ($X^2 = p < 0.001$). Las abreviaturas corresponden a CI) Colectores-rosa, CI. Fr) Colectores- Fragmentadores-verde, CI. R) Colectores-Recolectores-celeste, Dp) Depredadores-aguamarina, Det) Detritívoros-fucsia, Frag) Fragmentadores-rojo, Rec) Recolectores-azul oscuro, y Trit) Trituradores-amarillo.

Discusión

Es importante resaltar que los estudios enfocados en los GFA en los complejos de páramos no son muy amplios. La mayoría de información que se encuentra enfocada en el estudio de los GFA y los gremios tróficos de insectos acuáticos en Colombia han sido en la región cafetera (32) y en la región de los ríos del caribe colombiano (33, 34).

En este estudio se encontró que la familia Hyalellidae presentó la mayor concentración de organismos ($n=876$), los cuales usualmente son asociados a la vegetación acuática y su dieta se basa en la materia orgánica en descomposición presente en el agua (35), siendo ampliamente favorecidos por el aumento en el transporte de materia orgánica particulada fina (MOPF) en los ecosistemas acuáticos (36). Los Colectores-Fragmentadores, a los cuales pertenece la familia Hyalellidae, fue el GFA más abundante en el estudio. Se ha establecido que la familia Hyalellidae aprovecha la disponibilidad de la MOPF (37), este grupo suele utilizar y aprovechar más los recursos que se encuentran presentes en el medio acuático durante periodos de baja precipitación, debido a que se da una estabilidad hidrológica y de altas temperaturas (38) lo que podría estar relacionado con la alta presencia a lo largo del estudio.

El grupo de los Fragmentadores comparte un grado de codominancia con el grupo de los Colectores (26), esto puede deberse a que los Fragmentadores tienen una mayor capacidad de procesar la materia orgánica particulada gruesa (MOPG), transformándola en MOPF, lo que permite la presencia de los Colectores en el hábitat, dando como resultado que el ingreso de sedimentos provenientes de zonas vegetales pueda ser procesado y aprovechado (39). Concordando con el aumento de la disponibilidad de la MO, producto del ingreso de material vegetal ribereño (40). Así mismo, la proliferación de las algas perifíticas contribuye al aumento del alimento disponible para este tipo de organismos.

El crecimiento de las películas de algas perifíticas no solo beneficia a los grupos de Colectores-Fragmentadores y Colectores, sino que también resulta muy ventajoso para los Colectores-Recolectores, aunque este grupo presentó las abundancias más bajas en comparación con los dos anteriores, alcanzó un 1.75%, convirtiéndose en el tercer grupo con mayor porcentaje de abundancia a lo largo del estudio. En condiciones de escasas precipitaciones y altas temperaturas, se observa un incremento

en la concentración de algas en el agua, lo que amplía la disponibilidad de alimento y favorece la proliferación de los Colectores-Recolectores (35), como se observó en los meses de febrero y junio, los cuales tuvieron las menores precipitaciones de los meses monitoreados.

Las variaciones fisicoquímicas y morfológicas medidas a lo largo del cuerpo de agua evidencian condiciones diferenciales que influyen en la proliferación de las películas de algas y en la estructura funcional de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos. El incremento del caudal entre E1 y E4, junto con el aumento de la temperatura (de 8.6 a 10.3 °C) y un pH cercano a la neutralidad (7.4 ± 0.1), favorecieron la colonización por parte del perifiton (1). Estas condiciones sumadas a una mayor concentración de oxígeno disuelto (hasta 6.4 mg/L), podrían estar propiciando una alta productividad primaria, una mayor disponibilidad de materia orgánica particulada fina (MOPF) y detritos derivados de las películas algales (2).

La acumulación y el desprendimiento de material algal en los tramos con caudales intermedios y una buena oxigenación, pueden ofrecer una fuente de alimento para los Colectores, que se benefician del incremento de MOPF suspendida en la columna de agua. De igual manera, los Colectores-Fragmentadores podrían estar usando un recurso estable en forma de materia orgánica particulada gruesa (MOPG) principalmente descompuesta y cubierta por biopelículas (3, 4). Este patrón es consistente con observaciones realizadas en sistemas de alta montaña, donde los gradientes de flujo y temperatura determinan la disponibilidad de recursos tróficos y la composición funcional de los macroinvertebrados (1-4).

En contraste, la disminución del caudal registrado en E5 y el aumento local del pH (7.6) podrían favorecer una mayor retención de biomasa algal y un incremento de la sedimentación de MOPF. Tales condiciones tienden a favorecer el predominio de Colectores sobre Raspadores, dado a que, a una menor velocidad del flujo, se reduce la renovación del sustrato (5). La respuesta de los GFA, por tanto, refleja una estrecha dependencia de la estructura del hábitat y de las variaciones fisicoquímicas del sistema, lo que permite ver la importancia y la influencia de los factores abióticos en la organización trófica de las comunidades bentónicas (3, 4).

Aunque el grupo de los Colectores es bastante numeroso, su valor ecológico no suele ser tan significativo

que permite la presencia de los Colectores en el hábitat, dando como resultado que el ingreso de sedimentos provenientes de zonas vegetales pueda ser procesado y aprovechado (39). Concordando con el aumento de la disponibilidad de la MO, producto del ingreso de material vegetal ribereño (40). Así mismo, la proliferación de las algas perifíticas contribuye al aumento del alimento disponible para este tipo de organismos.

El crecimiento de las películas de algas perifíticas no solo beneficia a los grupos de Colectores-Fragmentadores y Colectores, sino que también resulta muy ventajoso para los Colectores-Recolectores, aunque este grupo presentó las abundancias más bajas en comparación con los dos anteriores, alcanzó un 1.75%, convirtiéndose en el tercer grupo con mayor porcentaje de abundancia a lo largo del estudio. En condiciones de escasas precipitaciones y altas temperaturas, se observa un incremento en la concentración de algas en el agua, lo que amplía la disponibilidad de alimento y favorece la proliferación de los Colectores-Recolectores (35), como se observó en los meses de febrero y junio, los cuales tuvieron las menores precipitaciones de los meses monitoreados.

Las variaciones fisicoquímicas y morfológicas medidas a lo largo del cuerpo de agua evidencian condiciones diferenciales que influyen en la proliferación de las películas de algas y en la estructura funcional de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos. El incremento del caudal entre E1 y E4, junto con el aumento de la temperatura (de 8.6 a 10.3 °C) y un pH cercano a la neutralidad (7.4 ± 0.1), favorecieron la colonización por parte del perifiton (1). Estas condiciones sumadas a una mayor concentración de oxígeno disuelto (hasta 6.4 mg/L), podrían estar propiciando una alta productividad primaria, una mayor disponibilidad de materia orgánica particulada fina (MOPF) y detritos derivados de las películas algales (2).

La acumulación y el desprendimiento de material algal en los tramos con caudales intermedios y una buena oxigenación, pueden ofrecer una fuente de alimento para los Colectores, que se benefician del incremento de MOPF suspendida en la columna de agua. De igual manera, los Colectores-Fragmentadores podrían estar usando un recurso estable en forma de materia orgánica particulada gruesa (MOPG) principalmente descompuesta y cubierta por biopelículas (3, 4). Este patrón es consistente con observaciones realizadas en sistemas de alta montaña, donde los gradientes de flujo y temperatura determinan la disponibilidad de recursos tróficos

y la composición funcional de los macroinvertebrados (1-4).

En contraste, la disminución del caudal registrado en E5 y el aumento local del pH (7.6) podrían favorecer una mayor retención de biomasa algal y un incremento de la sedimentación de MOPF. Tales condiciones tienden a favorecer el predominio de Colectores sobre Raspadores, dado a que, a una menor velocidad del flujo, se reduce la renovación del sustrato (5). La respuesta de los GFA, por tanto, refleja una estrecha dependencia de la estructura del hábitat y de las variaciones fisicoquímicas del sistema, lo que permite ver la importancia y la influencia de los factores abióticos en la organización trófica de las comunidades bentónicas (3, 4).

Aunque el grupo de los Colectores es bastante numeroso, su valor ecológico no suele ser tan significativo como la de otros grupos funcionales, tales como los Fragmentadores (1.13%) y los Depredadores (1.62%), que presentaron menores abundancias (26). A pesar de que los Raspadores también se benefician de una mayor disponibilidad de perifiton en el agua, su abundancia es la más baja entre los grupos funcionales encontrados, con sólo un 0.05%. Esta baja abundancia podría estar relacionada con las condiciones específicas requeridas por la única familia de esta categoría para su presencia en el sistema (36).

Las variaciones en las concentraciones de las abundancias en el cambio de estaciones y de los meses en los cuales se desarrolló el monitoreo (Figura 3), pueden estar directamente relacionadas a condiciones fisio-geográficas de las estaciones, lo que favorece el ingreso de mayor o menor material vegetal, ayudando al aumento de las abundancias de las familias que componen los diferentes Grupos Funcionales Alimenticios. Esta variabilidad en la presencia de los GFA puede atribuirse a los requisitos específicos de cada grupo en relación con las condiciones fisicoquímicas del agua y la disponibilidad de recursos.

Así mismo, se puede apreciar un cambio significativo en la concentración de los Grupos Funcionales Alimenticios en las estaciones monitoreadas, en donde el grupo Colector-Fragmentador mostró una mayor abundancia desde aguas arriba (estación 1) y fue disminuyendo a medida que bajaban las aguas hasta llegar a aguas abajo (estación 5). En contraste, el grupo de los Colectores mostró un patrón opuesto al de los Colectores-Fragmentadores, con una mayor abundancia en las

como la de otros grupos funcionales, tales como los Fragmentadores (1.13%) y los Depredadores (1.62%), que presentaron menores abundancias (26). A pesar de que los Raspadores también se benefician de una mayor disponibilidad de perifiton en el agua, su abundancia es la más baja entre los grupos funcionales encontrados, con sólo un 0.05%. Esta baja abundancia podría estar relacionada con las condiciones específicas requeridas por la única familia de esta categoría para su presencia en el sistema (36).

Las variaciones en las concentraciones de las abundancias en el cambio de estaciones y de los meses en los cuales se desarrolló el monitoreo (Figura 3), pueden estar directamente relacionadas a condiciones fisio-geográficas de las estaciones, lo que favorece el ingreso de mayor o menor material vegetal, ayudando al aumento de las abundancias de las familias que componen los diferentes Grupos Funcionales Alimenticios. Esta variabilidad en la presencia de los GFA puede atribuirse a los requisitos específicos de cada grupo en relación con las condiciones fisicoquímicas del agua y la disponibilidad de recursos.

Así mismo, se puede apreciar un cambio significativo en la concentración de los Grupos Funcionales Alimenticios en las estaciones monitoreadas, en donde el grupo Colector-Fragmentador mostró una mayor abundancia desde aguas arriba (estación 1) y fue disminuyendo a medida que bajaban las aguas hasta llegar a aguas abajo (estación 5). En contraste, el grupo de los Colectores mostró un patrón opuesto al de los Colectores-Fragmentadores, con una mayor abundancia en las estaciones aguas abajo y una disminución notable en las estaciones aguas arriba. Los Trituradores, por su parte, exhibieron un aumento en su abundancia en la estación número 2, seguido de una disminución progresiva a medida que avanzaban las estaciones. En este estudio se resalta el cambio estacional y temporal de los Grupos Funcionales Alimenticios en el curso del sistema hídrico. Esto debido a que los macroinvertebrados se ven influenciados por las variaciones del régimen hidrológico, viéndose afectadas variables tanto físicas como químicas las cuales se encuentran ligadas a variaciones de los factores climáticos. Al alterarse dichos factores, se ven directamente afectadas las composiciones y estructuras de las comunidades presentes en el cuerpo de agua, esto asociado al aumento de caudal, de volumen y de la formación de pozos, causando variaciones del hábitat (41).

Es importante resaltar que de acuerdo con trabajos rea-

lizados con GFA (31), los macroinvertebrados presentan un incremento de la abundancia y de la biomasa de algunos GF en la época seca. Sin embargo, para ríos del mismo sistema amazónico, se encontraron disminuciones en los refugios que ofrece la hojarasca de tamaño pequeño, esto durante los eventos de máxima precipitación, causando una reducción de la biomasa de macroinvertebrados acuáticos y de la MOP (42).

Algunas de comunidades de macroinvertebrados, pueden llegar a presentar en respuesta a las condiciones ambientales, incrementos de su actividad y de sus tamaños poblacionales, dependiendo de la disponibilidad de recursos (43, 44).

Conclusiones

Las variaciones fisicoquímicas registradas a lo largo de la quebrada evidencian una presión sobre la proliferación de las películas algales y, en consecuencia, sobre la estructura trófica de los macroinvertebrados acuáticos. La reducción progresiva del caudal influye en la disminución de la temperatura y el oxígeno disuelto hacia los tramos medios del sistema favoreciendo la expansión de la biopelícula perifítica generando una mayor disponibilidad de materia orgánica.

La quebrada El Santuario presentó ocho Grupos Funcionales Alimenticios, los grupos Colector-Fragmentador y Colectores registraron las mayores abundancias, reflejando la presencia de Materia Orgánica Particulada Fina (MOPF) en el cuerpo de agua.

Se encontraron diferencias en la presencia de GFA entre las estaciones y meses de muestreo, posiblemente asociado a cambios estacionales que influye en factores como la fisicoquímica del agua, las precipitaciones o el nivel del cuerpo de agua.

Las diferencias en las abundancias de los GFA entre estaciones podrían estar asociados a factores como la fisio-geografía de los puntos monitoreados, los aportes de material vegetal circundante y la formación de películas de algas perifíticas, los cuales favorecen una mayor disponibilidad y flujo de MOPF.

Agradecimientos

Al señor Jorge Orjuela propietario de la Reserva Minas El Santuario por permitirnos la entrada al predio para realizar el estudio, a los biólogos Víctor Rodríguez

Saavedra, Daniel Tolosa Soler y Luisa María Tejada por su acompañamiento en campo durante el desarrollo del proyecto, al programa de Biología de la Universidad El Bosque por facilitar los equipos y los espacios para el procesamiento del material recolectado.

Conflicto de intereses y financiación

No existen conflictos de interés por ninguna de las partes involucradas en la realización de este proyecto, la fuente de financiación de la investigación fue por parte del Grupo de Investigaciones en Biología (GRIB) de la Facultad de Ciencias de la Universidad El Bosque.

Referencias

1. Cleef AM. Characteristics of neotropical paramo vegetation and its subantarctic relations. *Erdwiss Forsch.* 1978; 11:365-90.
2. Molano Barrero J. Suelos ecuatoriales. *Biogeografía de los páramos de Colombia.* 1989; 19:5-10.
3. Luteyn JL. Páramo: an Andean ecosystem under human influence. London: Academic Press; 1992.
4. Rangel-Ch JO. Clima de la región paramuna en Colombia. En: Rangel-Ch JO, editor. *Colombia diversidad biótica III: la región de vida paramuna de Colombia.* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2000. p. 129-378.
5. Cuatrecasas J. Aspectos de la vegetación natural de Colombia. *Rev Acad Colomb Cienc Exact Fis Nat.* 1958;10(40):225-64.
6. Cuatrecasas J. Aspectos de la vegetación natural en Colombia. *Perez-Arbelaezia.* 1989;2(8):155-83.
7. IDEAM. Leyenda Nacional de coberturas de la tierra: metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia escala 1:100.000. Bogotá: IDEAM; 2010.
8. IDEAM. Páramos y ecosistemas altoandinos de Colombia en condición hotspot & global climatic tensor. Bogotá: IDEAM; 2002.
9. Rincón LNG. Los páramos en Colombia, un ecosistema en riesgo. *Ingeniare.* 2015; 19:127-36.
10. Londoño JCJ. Importancia de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. *Rev Ing Univ Medellín.* 2002;1(1):93-8.
11. Wohl E. Human impacts to mountain streams. *Geomorphology.* 2006; 79(3-4):217-48. doi:10.1016/j.geomorph.2006.06.020.
12. Hill BH, Kolka RK, McCormick FH, Starry MA. A synoptic survey of ecosystem services from headwater catchments in the United States. Fort Collins (CO): USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station; 2014.
13. Whiles MR, Wallace JB. Macroinvertebrate production in a headwater stream during recovery from anthropogenic disturbance and hydrologic extremes. *Can J Fish Aquat Sci.* 1995; 52(11):2402-2422.
14. Buytaert W, Cuesta-Camacho F, Tobón C. Water for cities: the impact of climate change and demographic growth in the tropical Andes. *Water Resour Res.* 2012;48(10):W08503. doi:10.1029/2011WR011755.
15. Meza-Salazar AM, Guevara G, Gomes-Dias L, Cultid-Medina CA. Density and diversity of macroinvertebrates in Colombian Andean streams impacted by mining, agriculture and cattle production. *PeerJ.* 2020;8:e9619. doi:10.7717/peerj.9619.
16. Cummins KW. Structure and function of stream ecosystems. *BioScience.* 1974;24(11):631-41.
17. Núñez JC, Fragoso-Castilla PJ. Uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de contaminación del agua de la Ciénaga Mata de Palma (Colombia). *Inf Tecnol.* 2019;30(5):319-30.
18. Pumarejo Cruz G. Grupos funcionales alimenticios de macroinvertebrados acuáticos de la quebrada El Santuario, Tausa [tesis de pregrado]. Bogotá: Universidad El Bosque; 2022.
19. Barbour M, Gerritsen J, Snyder B, Stribling J. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates, and fish. 2nd ed. Washington, D.C.: Environmental Protection Agency, Office of Water; 1999.
20. Merritt RW, Cummins KW, editors. An introduction to the aquatic insects of North America. Dubuque (IA): Kendall Hunt; 1996.
21. Roldán Pérez G. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Medellín: Universidad de Antioquia; 1996.

22. Prat N, Gonzáles-Trujillo JD, Ospina-Torres R. Clave para la determinación de exuvias pupales de los quironómidos (Diptera: Chironomidae) de ríos altoandinos tropicales. *Rev Biol Trop*. 2014;62(4):1358-406.
23. Posada-García JA, Roldán-Pérez G. Clave ilustrada y diversidad de las larvas de Trichoptera en el noroccidente de Colombia. *Caldasia*. 2003; 25:169-92.
24. Neira Barón DM. Implementación de procesos y procedimientos del Museo de Ciencias de la Universidad El Bosque según ISO 9001:2008 [trabajo de grado]. Bogotá: Universidad El Bosque; 2013.
25. Tomanova S, Goitia E, Helesic J. Trophic levels and functional feeding groups of macroinvertebrates in neotropical streams. *Hydrobiologia*. 2006; 556:251-64.
26. Chará-Serna AM, Chará JD, Zúñiga MC, Pedraza GX, Giraldo LP. Clasificación trófica de insectos acuáticos en ocho quebradas protegidas de la ecorregión cafetera colombiana. *Univ Sci*. 2010;15(1):27-36.
27. Grimaldo W. Aspectos tróficos y ecológicos de los macroinvertebrados acuáticos. *Ecol Explorers*. 2004;1(1):1-7.
28. Meza A, Rubio J. Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná. *Caldasia*. 2012;34(2):443-56.
29. Currea-Dereser IA. Degradación de hojarasca en un igarapé (Leticia-Amazonas, Colombia): la acción de grupos funcionales de insectos acuáticos [tesis de maestría]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2006.
30. Roldán Pérez GA. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: uso del método BMWP/Col. Medellín: Universidad de Antioquia; 2003.
31. Rodríguez-Barrios J, Ospina-Torres R, Turizo-Correa R. Grupos funcionales alimentarios de macroinvertebrados acuáticos en el río Gaira, Colombia. *Rev Biol Trop*. 2011;59(4):1537-52.
32. Chará-Serna AM, Chará JD, Zúñiga MC, Pearson RG, Boyero L. Diets of leaf-litter-associated insects in three Colombian streams. *Ann Limnol Int J Limnol*. 2012;48:139-44. doi:10.1051/limn/2012013.
33. Granados-Martínez C, Zúñiga-Céspedes B, Acuña-Vargas J. Diets and trophic guilds of aquatic insects in Molino River, La Guajira, Colombia. *J Limnol*. 2016;75(s1):144-50. doi:10.4081/jlimnol.2016.1396.
34. Guzmán-Soto CJ, Tamaris-Turizo CE. Hábitos alimentarios de individuos inmaduros de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera en la parte media de un río tropical de montaña. *Rev Biol Trop*. 2014;62(2):169-78.
35. Rivera Usme JJ, Pinilla Agudelo G, Camacho Pinzón DL. Grupos tróficos de macroinvertebrados acuáticos en un humedal urbano andino de Colombia. *Acta Biol Colomb*. 2013;18(2):279-92.
36. Motta Díaz Á, Ortega Corredor L, Niño Fernández Y, Aranguren Riaño N. Grupos funcionales alimenticios de macroinvertebrados acuáticos en un arroyo tropical (Colombia). *Rev UDCA Actual Divulg Cient*. 2016;19(2):425-33.
37. Chessman BC. Dietary studies of aquatic insects from two Victorian rivers. *Mar Freshw Res*. 1986;37(2):129-36.
38. Miserendino LM, Pizzolón LA. Macroinvertebrates of a fluvial system in Patagonia: altitudinal zonation and functional structure. *Arch Hydrobiol*. 2000;150(1):55-83.
39. Príncipe RE, Gualdoni CM, Oberto AM, Raffaini GB, Corigliano MC. Spatial-temporal patterns of functional feeding groups in mountain streams of Córdoba, Argentina. *Ecol Austral*. 2010;20(3):257-68.
40. Zúñiga-Céspedes B, Zúñiga MC, Chará J. The effect of macroinvertebrate exclusion on leaf breakdown rates in two upland Colombian streams. *Rev Biol Trop*. 2018;66(1):457-67. doi:10.15517/rbt.v66i1.28070.
41. Longo M, Zamora H, Guisande C, Ramírez JJ. Dinámica de la comunidad de macroinvertebrados en la quebrada Potrerillos (Colombia): respuesta a los cambios estacionales de caudal. *Limnetica*. 2010;29(2):195-210.
42. Rueda-Delgado G. Lineamientos de un programa de aseguramiento de la oferta hídrica del río Gaira a partir de la evaluación de la integralidad biológica de la cuenca [tesis]. Santa Marta: Universidad del Magdalena; 2005.
43. Allan JD, Castillo MM. Stream ecology: structure and function of running waters. Dordrecht: Springer; 2007.
44. Vannote RL, Minshall GW, Cummins KW, Sedell JR, Cushing CE. The river continuum concept. *Can J Fish Aquat Sci*. 1980; 37:130-7.