ISSN Versión Impresa 1816-0719 ISSN Versión en línea 1994-9073 ISSN Versión CD ROM 1994-

The Biologist (Lima), 2026, vol. 24 (1), 7-17

The Biologist (Lima)



ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

ASSEMBLY OF AQUATIC MACROINVERTEBRATES IN LOTIC ECOSYSTEMS OF RESERVA NATURAL EL CADUCEO, SAN MARTIN-META, COLOMBIA

ENSAMBLAJE DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN ECOSISTEMAS LÓTICOS DE LA RESERVA NATURAL EL CADUCEO, SAN MARTIN-META, COLOMBIA

Alejandro Ortega-Veloza[1,2,3] & Julian Yessid Arias-Pineda[1,2,3*]

[1] Semillero de investigación en ecosistemas acuáticos y terrestres NEREA. Programa académico de Biología, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Colombia.
[2] Grupo de biogeografía y ecología evolutiva BEEN. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Colombia.
[3] Grupo de investigación en artrópodos y otros invertebrados KUMANGUI. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Colombia.
* Corresponding author: jyariasp@udistrital.edu.co

Alejandro Ortega-Veloza: https://orcid.org/0009-0007-1782-2624
Julian Yessid Arias-Pineda: https://orcid.org/0000-0002-2399-7953

ABSTRACT

Aquatic macroinvertebrates are characterized by their high variability and adaptability to environmental changes, allowing them to play a fundamental role in the functioning of aquatic ecosystems and making them key bioindicators of water quality. This study aimed to analyze the relationship between physicochemical variables of water bodies and the structure of macroinvertebrate communities in the El Caduceo Natural Reserve, located in the Colombian Orinoquía piedmont. Quantitative and qualitative sampling was conducted at two sites: a stream and the sub-basin of the Camoa River. Physicochemical variables, including pH, temperature, total dissolved solids, and electrical conductivity, were measured, and D-net, kick net, and Surber sampler were used for organism collection. Taxonomic identification was performed at the family and genus levels. Water quality was assessed using the BMWP/Col index, and diversity and evenness metrics were estimated. Results showed that the stream exhibited higher richness, diversity, and evenness, whereas the Camoa River presented a simplified community dominated by tolerant taxa such as Trichoptera. BMWP/Col values indicated moderately polluted conditions in the stream and highly polluted conditions in the river. These findings suggest that dissolved oxygen directly influences community structure and diversity, highlighting the importance of macroinvertebrates as effective tools for environmental monitoring.

Keywords: aquatic macroinvertebrates – BMWP/Col – Camoa River – lotic ecosystems – physicochemical variables – water quality

Este artículo es publicado por la revista The Biologist (Lima) de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [https:// creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original.

DOI: https://doi.org/10.62430/rtb20262412097

RESUMEN

Los macroinvertebrados acuáticos se caracterizan por su alta variabilidad y capacidad de adaptación frente a cambios ambientales, lo que les permite desempeñar un papel fundamental en el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y los posiciona como bioindicadores clave de la calidad del agua. El presente estudio tuvo como objetivo analizar la relación entre las variables fisicoquímicas de los cuerpos de agua y la estructura de la comunidad de macroinvertebrados en la Reserva Natural El Caduceo, ubicada en el piedemonte llanero colombiano. Se realizaron muestreos cuantitativos y cualitativos en dos estaciones: una en una quebrada y otra en la subcuenca del río Camoa. Se registraron variables fisicoquímicas como pH, temperatura, sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica, y se emplearon redes tipo D-net, red de patada y muestreador Surber para la recolección de organismos. La identificación taxonómica se efectuó hasta el nivel de familia y género. Para el análisis de la calidad del agua se utilizó el índice BMWP/Col, y se estimaron métricas de diversidad y equidad. Los resultados evidenciaron que la quebrada presentó mayor riqueza, diversidad y equidad en la composición de macroinvertebrados, mientras que el río Camoa mostró una comunidad empobrecida, dominada por organismos tolerantes como Trichoptera. Los valores del índice BMWP/Col indicaron condiciones moderadamente contaminadas en la quebrada y altamente contaminadas en el río. Estos hallazgos evidencian que el oxígeno disuelto influye directamente en la estructura y diversidad de las comunidades, resaltando la importancia de los macroinvertebrados como herramientas para el monitoreo ambiental.

Palabras clave: BMWP/Col – calidad del agua – ecosistemas lóticos – macroinvertebrados acuáticos – río Camoa – variables fisicoquímicas

INTRODUCCION

Los macroinvertebrados acuáticos comprenden un amplio conjunto de organismos invertebrados visibles a simple vista (≥ 0,5 mm), tales como insectos, moluscos, anélidos y crustáceos, que habitan en ecosistemas dulceacuícolas como ríos, quebradas y lagunas (Roldán-Pérez, 2016). Estos organismos desempeñan un papel fundamental en el funcionamiento ecológico de los sistemas acuáticos, al intervenir activamente en procesos como la fragmentación y descomposición de la materia orgánica, el reciclaje de nutrientes y la transferencia de energía hacia niveles tróficos superiores (Oliveira & Callisto, 2010; Ramírez & Gutiérrez-Fonseca, 2014). En este sentido, su presencia y estructura comunitaria reflejan de manera integrada las condiciones ambientales del ecosistema (Jaimes & Granados, 2016).

Debido a su sensibilidad diferencial frente a alteraciones fisicoquímicas y perturbaciones antrópicas, los macroinvertebrados acuáticos son ampliamente reconocidos como bioindicadores de la calidad del agua (Roldán-Pérez, 2016; Moreno & Gutiérrez, 2019). Diversos estudios han demostrado que cambios en variables como la conductividad, el pH, la temperatura o la carga orgánica se traducen en modificaciones en la composición, abundancia y diversidad de estas comunidades (Capera, 2020; Perea *et al*., 2019). Por ello, su estudio constituye una herramienta clave en la evaluación ecológica de sistemas lóticos, especialmente en regiones donde los monitoreos fisicoquímicos convencionales resultan insuficientes para captar la complejidad ambiental.

En el contexto neotropical, y particularmente en Colombia, los macroinvertebrados han sido utilizados de manera creciente para la evaluación de la calidad del agua mediante índices bióticos como el BMWP/Col, el cual integra la tolerancia ecológica de distintos taxones frente a condiciones de contaminación (Roldán-Pérez, 2016). Sin embargo, la efectividad de estos indicadores depende en gran medida del conocimiento taxonómico y ecológico local, el cual aún presenta vacíos significativos en diversas regiones del país.

El piedemonte llanero colombiano, especialmente en el departamento del Meta, se caracteriza por su alta diversidad biológica asociada a ecosistemas de bosque de galería, ríos y quebradas, que albergan una notable riqueza de fauna, incluyendo comunidades de macroinvertebrados poco estudiadas (Caro-Caro *et al*., 2014; Gutiérrez *et al*., 2020). A pesar de esta riqueza, el conocimiento sobre la estructura y dinámica de estos ensamblajes biológicos sigue siendo limitado, lo que restringe la formulación de estrategias adecuadas de manejo y conservación (Rodríguez *et al*., 2017).

Investigaciones recientes han evidenciado esta brecha de información, señalando que aún se desconoce con precisión la composición taxonómica, distribución espacial y respuesta ecológica de los macroinvertebrados frente a gradientes ambientales en múltiples sistemas acuáticos del Meta (Rodríguez *et al*., 2017). De manera complementaria, estudios locales han aportado información preliminar sobre variables fisicoquímicas y diversidad biológica en cuerpos de agua del piedemonte llanero, incluyendo sistemas como los ríos Humadea, Marayal y Camoa, así como caños asociados a la ecoreserva ASA en Acacías (García-Díaz, 2024). Estos trabajos constituyen un punto de partida importante para el entendimiento de la biodiversidad acuática regional, aunque aún resultan insuficientes para establecer patrones ecológicos robustos.

Asimismo, iniciativas académicas desarrolladas en la región, como la elaboración de guías ilustradas para la colecta e identificación de insectos acuáticos, han contribuido al reconocimiento inicial de la diversidad biológica y al fortalecimiento de capacidades investigativas en escenarios como la Reserva Natural El Caduceo (Castiblanco & Chinome, 2016). No obstante, persisten desafíos importantes, entre los que se destacan la escasez de estudios integrales que relacionen variables fisicoquímicas con la estructura comunitaria, la limitada validación de índices bióticos para condiciones locales y el desconocimiento de la variabilidad temporal de estas comunidades (Perea *et al*., 2019).

Estos vacíos de conocimiento pueden conducir a interpretaciones parciales del estado ecológico de los ecosistemas acuáticos, especialmente cuando los estudios se restringen a periodos climáticos específicos o a evaluaciones puntuales. En consecuencia, se hace necesario desarrollar investigaciones que integren el análisis de variables ambientales y biológicas, con el fin de generar información robusta que contribuya a la gestión sostenible de los recursos hídricos en la región.

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar la influencia de las condiciones fisicoquímicas del agua sobre la composición y diversidad de los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores en los cuerpos de agua de la Reserva Natural El Caduceo, Colombia. Para ello, se propone (i) estimar la diversidad de macroinvertebrados presentes en los sistemas lóticos de la reserva, (ii) caracterizar las variables fisicoquímicas del agua y (iii) analizar la relación entre estas condiciones ambientales y la estructura de la comunidad biológica, con el propósito de aportar al conocimiento ecológico de la región y fortalecer herramientas de monitoreo ambiental.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la Reserva Natural El Caduceo, ubicada en el límite entre la Cordillera Oriental y los Llanos Orientales, al sureste del casco urbano del municipio de San Martín, departamento del Meta, Colombia. Específicamente, se localiza en la vereda San Francisco, sobre el km 4 (3°39’55.3” N; 73°39’28.2” W) (Fonseca & Mahecha, 2015). La reserva abarca aproximadamente 173 ha, de las cuales cerca del 60 % corresponde a sabanas naturales y pastos introducidos, mientras que el 40 % restante está conformado por bosques de galería inundables y no inundables, así como fragmentos de bosque aislados y arbustales (Casallas-Pabón *et al*., 2017). El estrato arbóreo está compuesto por especies perennifolias y algunas caducifolias, con alturas que oscilan entre 20 y 30 m, y una baja presencia de palmas emergentes. Asimismo, el área incluye unidades paisajísticas asociadas a la subcuenca del río Camoa, configurando un biotopo mixto característico del piedemonte llanero.

Estaciones de muestreo

Se seleccionaron dos estaciones de muestreo correspondientes a ecosistemas lóticos. La primera estación se ubicó en la parte alta de la subcuenca del río Camoa (3°40’09,0” N; 73°39’28,1” W), caracterizada por un sustrato predominantemente rocoso, alta luminosidad y abundante presencia de organismos talófitos, briófitos y macroinvertebrados. La segunda estación se localizó en un tramo de bosque de galería (3,667225 N; -73,655155 W), con menor incidencia lumínica, mayor acumulación de hojarasca y un sustrato mixto rocoso-lodoso en los márgenes de la quebrada.

Para garantizar la representatividad espacial, en cada estación se estableció un transecto longitudinal. En la quebrada se delimitó un transecto de 10,5 m, subdividido en cinco secciones de 2 m, con tres réplicas por sección (15 réplicas en total). En la subcuenca del río Camoa se estableció un transecto de 10 m dividido en dos secciones de 5 m, con un total de seis réplicas.

Caracterización morfológica de los cuerpos de agua

En cada estación se registraron variables morfométricas como ancho del cauce, longitud del tramo evaluado y profundidad promedio, utilizando cinta métrica y vara graduada. La velocidad superficial de la corriente se estimó mediante el método del flotador. Se marcaron dos puntos a una distancia conocida, se liberó un objeto flotante y se registró el tiempo de desplazamiento con cronómetro. Este

procedimiento se repitió cinco veces por sitio para obtener una velocidad promedio. Con estos datos se estimó el caudal de cada cuerpo de agua.

Variables fisicoquímicas

En cada estación se midieron *in situ* las variables pH, temperatura, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales (TDS), utilizando un multiparámetro portátil Cloud Prime modelo MF-M51, previamente calibrado conforme a las especificaciones del fabricante. Se realizaron tres mediciones consecutivas por variable en cada sitio, con el fin de obtener valores promedio representativos.

Muestreo biológico

El muestreo de macroinvertebrados acuáticos combinó enfoques cualitativos y cuantitativos, en función del microhábitat presente. En zonas laterales con sustratos rocosos se empleó red tipo D-net (muestreo cualitativo). En sectores centrales con mayor velocidad de corriente se utilizó red de pantalla (kick net). En zonas intermedias se aplicó un muestreo cuantitativo mediante red Surber (0,09 m^2; malla de 500 µm). En cada réplica se aplicó un esfuerzo de muestreo estandarizado de dos minutos, mediante técnicas de agitación, pateo y raspado del sustrato.

Procesamiento del material biológico

El material recolectado fue transferido a bandejas blancas para la separación manual de los organismos con pinzas entomológicas. Posteriormente, los especímenes se almacenaron en tubos Eppendorf (1,5 mL) y tubos Falcon (10 mL), debidamente rotulados, y fueron fijados en etanol al 96 %. El material fue transportado al laboratorio del Semillero de Investigación Kumangui de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, en Bogotá, Colombia, para su posterior análisis.

Determinación taxonómica

La identificación taxonómica se realizó mediante el uso de claves especializadas, alcanzando el nivel taxonómico más detallado posible (familia o género). Se reconoce que algunos grupos, como el orden Trichoptera, presentan limitaciones taxonómicas en la región, lo que puede restringir la resolución taxonómica en ciertos casos (López *et al.*, 2015).

Análisis de datos

Diversidad alfa

La diversidad alfa se evaluó mediante los números de Hill, que permiten estimar el número efectivo de especies (Jost, 2006). Se calcularon:

q0 (riqueza específica): basada en riqueza observada y estimador Chao1

q1 (diversidad de Shannon): asociada a la equidad

q2 (diversidad de Simpson): asociada a la dominancia

Los análisis se realizaron en el software RStudio mediante el paquete iNEXT (López-Alejandra, 2020).

Índice BMWP/Col

La calidad del agua se evaluó mediante el índice BMWP/Col, basado en la tolerancia de las familias de macroinvertebrados a la contaminación (Roldán-Pérez, 2016). A cada familia se le asignó un valor entre 1 y 10, y la sumatoria total permitió clasificar la calidad del agua en categorías ecológicas.

Aspectos éticos

El desarrollo de esta investigación se ajustó a los principios éticos y normativos establecidos por la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, en concordancia con las políticas institucionales de investigación y manejo responsable de la biodiversidad. La recolección de macroinvertebrados acuáticos se realizó bajo criterios de mínimo impacto ambiental, limitando el número de individuos colectados a lo estrictamente necesario para fines científicos y evitando alteraciones significativas en los microhábitats evaluados. Asimismo, se respetaron las condiciones ecológicas de los cuerpos de agua y se evitó la remoción innecesaria de sustratos o vegetación asociada. El manejo, transporte y preservación de los organismos siguió protocolos estandarizados que garantizan la integridad de las muestras y el respeto por la fauna silvestre. Adicionalmente, el estudio se enmarca en actividades académicas e investigativas avaladas por el Semillero de Investigación Kumangui y los lineamientos institucionales de investigación en biodiversidad.

RESULTADOS

Caracterización morfológica de los cuerpos de agua

Las dos fuentes hídricas evaluadas presentaron diferencias marcadas en sus características morfométricas. En la quebrada de la Reserva El Caduceo se registró un ancho promedio de 11 m, una profundidad media de 0,42 m y una velocidad superficial de 0,368 m/s, lo que permitió estimar un caudal de 1,699 m^3/s. Por su parte, el tramo eva-

luado en la subcuenca del río Camoa presentó dimensiones considerablemente menores, con un ancho promedio de 2,48 m, una profundidad media de 0,14 m y una velocidad de 0,2 m/s, lo que corresponde a un caudal de 0,069 m^3/s**.** Estas diferencias evidencian una mayor capacidad hidráulica en la quebrada, lo cual puede favorecer una mayor heterogeneidad de microhábitats y, en consecuencia, una mayor diversidad biológica.

Variables fisicoquímicas

Las mediciones fisicoquímicas evidenciaron variaciones entre ambas fuentes hídricas. La quebrada presentó valores ligeramente inferiores de temperatura (24,7 °C) y pH (5,5), así como concentraciones más bajas de sólidos disueltos totales (3 ppm), en comparación con el río Camoa (26,7 °C, pH 5,9 y 11 ppm, respectivamente). En cuanto a la conductividad eléctrica (µS/cm), la quebrada registró un valor de 1 µS/cm, considerado atípico para sistemas naturales, por lo que se atribuye a un posible error de medición o falla instrumental y no fue considerado en los análisis posteriores. El río presentó un valor de 22 µS/cm, más acorde con condiciones naturales de sistemas de baja mineralización. En conjunto, estos resultados sugieren que la quebrada presenta condiciones fisicoquímicas más estables y posiblemente menos influenciadas por aportes externos, mientras que el río podría estar sujeto a mayores variaciones ambientales.

Composición de macroinvertebrados acuáticos

Se registró una comunidad diversa de macroinvertebrados acuáticos en ambas fuentes hídricas, con representación de las clases Insecta y Malacostraca.

En la quebrada se identificaron siete taxones, incluyendo organismos pertenecientes a órdenes sensibles como Ephemeroptera (*Campylocia* sp.), Plecoptera (*Anacroneuria* sp.) y Coleoptera (Psephenidae), así como grupos de tolerancia intermedia como Hemiptera (Naucoridae) y Diptera (Tipulidae). Además, se registró la presencia de crustáceos decápodos (*Macrobrachium* sp. y *Moreirocarcinus emarginatus*), lo que evidencia la heterogeneidad del hábitat y la disponibilidad de refugios estructurales (Tabla 1). En la subcuenca del río Camoa se registraron cinco taxones, con una marcada dominancia del orden Trichoptera, particularmente de la familia Hydropsychidae, que representó la mayor abundancia (n = 154 individuos). También se registraron familias como Philopotamidae (*Chimarra* sp.), Coenagrionidae (*Argia* sp.), Elmidae y Chironomidae (Tabla 2).

Tabla 1. Familias registradas de la quebrada en la Reserva El Caduceo, Colombia.

Clase	Orden	Familia	Taxones	Individuos
Malacostraca	Decapoda	Palaemonidae	*Macrobrachium* sp.	1
		Trichodactylidae	*Moreirocarcinus emarginatus*	1
Insecta	Ephemeroptera	Euthyplocidae	*Campylocia* sp.	1
	Plecoptera	Perlidae	*Anacroneuria* sp.	1
	Diptera	Tipulidae	*Tipula* sp.	2
	Coleoptera	Psephenidae	*Psephenops* sp.	2
	Hemiptera	Naucoridae		2

Tabla 2. Familias y Taxones inferiores registradas en la parte alta de la subcuenca del rio Camoa, Colombia.

Clase	Orden	Familia	Taxones inferiores	Individuos
Insecta	Trichoptera	Hidrophyschidae		154
		Philopotamidae	*Chimarra* sp.	5
	Diptera	Chironomidaae		1
	Odonata	Coenagronidae	*Argia* sp.	2
			Palaemna sp.	2
	Coleoptera	Elmidae		1

Índice BMWP/Col

El índice BMWP/Col evidenció diferencias claras en la calidad del agua entre las dos fuentes evaluadas.

La quebrada obtuvo una puntuación de 54, lo que la clasifica dentro de la categoría de calidad "dudosa" (aguas moderadamente contaminadas). En contraste, el río Camoa registró una puntuación de 31, correspondiente a una calidad "crítica", indicando condiciones de alta perturbación ambiental. Estos resultados sugieren un mayor grado de alteración ecológica en el río, posiblemente asociado a factores como mayor carga orgánica, perturbación del hábitat o variaciones hidrológicas.

Composición relativa de los órdenes

El análisis de densidad relativa mostró diferencias estructurales en la comunidad de macroinvertebrados entre ambas fuentes. En la quebrada, la comunidad presentó una distribución relativamente equitativa entre varios órdenes, incluyendo Decapoda, Ephemeroptera, Plecoptera, Diptera, Coleoptera y Hemiptera, lo que refleja una comunidad más balanceada. En contraste, el río Camoa estuvo fuertemente dominado por el orden Trichoptera, con una contribución casi total a la densidad relativa, acompañado por una baja representación de otros órdenes. Este patrón de dominancia indica una menor equidad en la comunidad del río y sugiere condiciones ambientales que favorecen la proliferación de ciertos taxones (Figura 1).

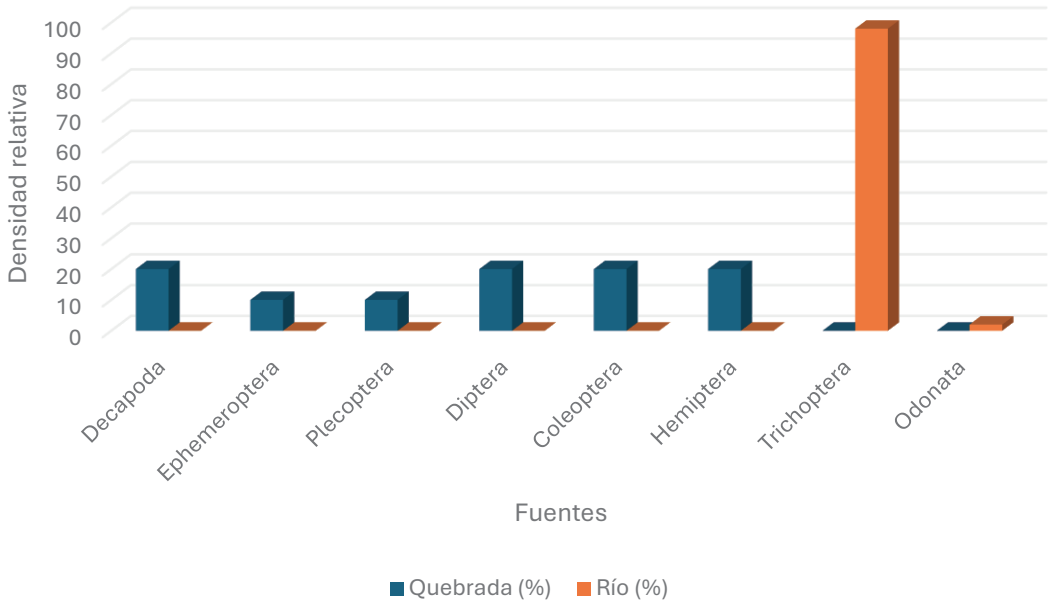


Figura 1. Densidad relativa de los órdenes obtenida para las fuentes hídricas de la reserva El Caduceo, Colombia.

Diversidad alfa

Los análisis de diversidad alfa, basados en los números de Hill, evidenciaron diferencias significativas entre las dos fuentes hídricas. La quebrada presentó una mayor riqueza (q0 = 7), así como valores más altos de diversidad de Shannon (q1 = 1,88) y Simpson (q2 = 0,84), lo que indica una comunidad más equitativa y con menor dominancia. Por el contrario, el río Camoa mostró una menor riqueza (q0 = 5) y valores considerablemente más bajos de Shannon (q1 = 0,32) y Simpson (q2 = 0,12), lo que evidencia una comunidad dominada por pocos taxones y con baja equidad (Figura 2). Las curvas de rarefacción y extrapolación confirmaron estos patrones, mostrando una mayor pendiente inicial en la quebrada, asociada a una mayor diversidad efectiva, mientras que el río presentó una curva más plana, característica de comunidades dominadas por pocos grupos. En conjunto, estos resultados indican que la quebrada alberga una comunidad de macroinvertebrados más diversa y estructuralmente equilibrada, mientras que el río presenta una comunidad simplificada y dominada, posiblemente como respuesta a condiciones ambientales más restrictivas (Figura 3).

DISCUSIÓN

La interpretación integrada de las variables fisicoquímicas y biológicas evidencia diferencias ecológicas claras entre las dos fuentes hídricas evaluadas, las cuales se reflejan en la estructura, composición y diversidad de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos. En términos generales, los

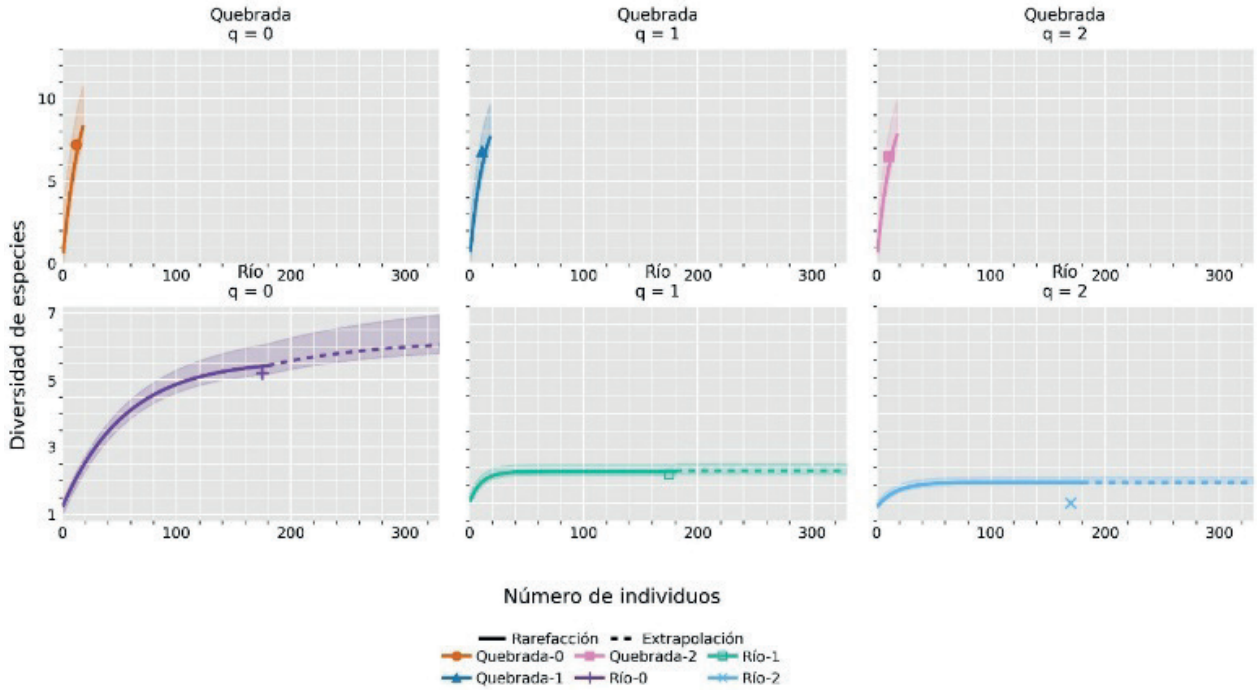


Figura 2. Diversidad alfa correspondiente a los tres primeros números de Hill (q0, q1 y q2), para las fuentes hídricas muestreadas en el Caducedo, Colombia.

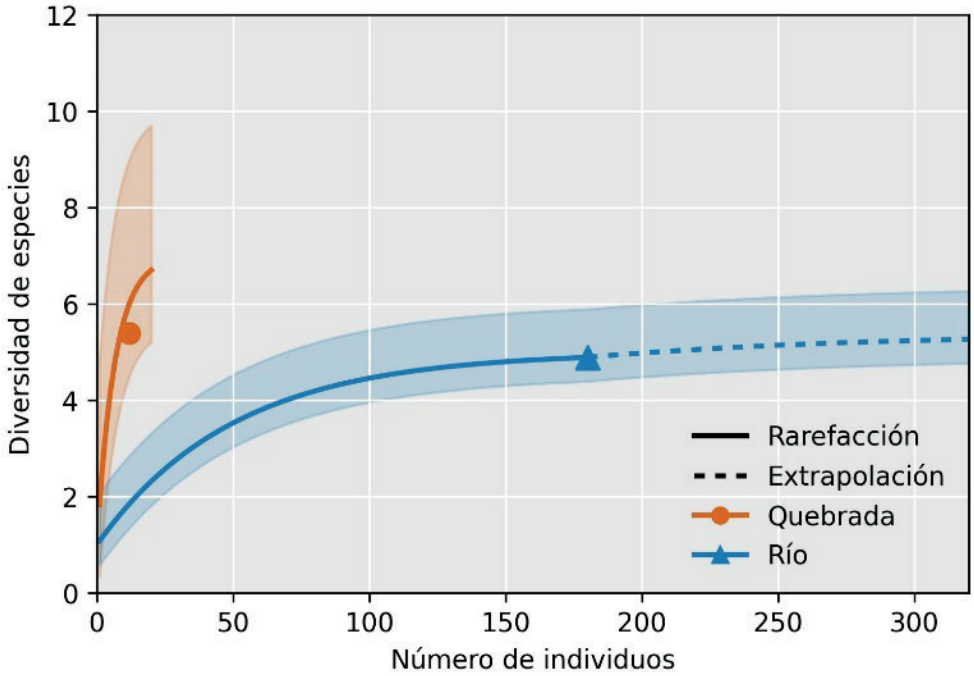


Figura 3. Curva de rarefacción y extrapolación de familias para las fuentes hídricas de la reserva El caduceo, Colombia.

valores registrados de pH, temperatura y sólidos disueltos totales son consistentes con los reportados para sistemas del piedemonte llanero colombiano, caracterizados por aguas de baja mineralización, ligeramente ácidas y con condiciones oligotróficas (Osorio *et al.*, 2011; Rodríguez *et al.*, 2017). No obstante, las diferencias observadas entre la quebrada y el río Camoa sugieren variaciones en el grado de intervención ambiental, posiblemente asociadas a presiones antrópicas difusas como actividades ganaderas y aportes orgánicos, las cuales pueden modificar progresivamente

las condiciones del agua sin generar cambios abruptos en la conductividad (Carvacho-Aránguiz, 2012).

En este contexto, es ampliamente reconocido que variables como el pH, la temperatura, la conductividad eléctrica y la concentración de sólidos disueltos influyen directamente en la distribución y abundancia de los macroinvertebrados acuáticos, actuando como filtros ecológicos que determinan la composición de las comunidades (Carvacho-Aránguiz, 2012; Moreno & Gutiérrez, 2019). Los resultados obtenidos en este estudio confirman este patrón, evidenciando que pequeñas variaciones fisicoquímicas pueden traducirse en cambios significativos en la estructura comunitaria, lo cual resalta la alta sensibilidad de estos organismos como bioindicadores (Roldán-Pérez, 2016).

El análisis de la diversidad alfa, basado en los números de Hill, mostró diferencias marcadas entre ambos sistemas. La quebrada presentó una mayor riqueza, equidad y diversidad efectiva, mientras que el río Camoa evidenció una comunidad dominada por pocos taxones, principalmente Hydropsychidae. Este patrón de dominancia extrema es característico de sistemas sometidos a perturbación, donde ciertas especies oportunistas o funcionalmente eficientes logran proliferar en detrimento de la diversidad general (Jost, 2006; Ramírez & Gutiérrez-Fonseca, 2014). La congruencia entre los índices de diversidad y las curvas de rarefacción refuerza la robustez de estos resultados y sugiere que la quebrada mantiene una comunidad más estructuralmente equilibrada.

Desde el punto de vista bioindicador, la presencia de órdenes sensibles como Ephemeroptera y Plecoptera en la quebrada constituye un indicador confiable de mejores condiciones ambientales, dado que estos grupos son altamente susceptibles a cambios en la calidad del agua y requieren condiciones bien oxigenadas y baja contaminación (Roldán-Pérez, 2016; Capera, 2020). Asimismo, el registro de la familia Psephenidae, considerada altamente sensible, refuerza la interpretación de una mayor integridad ecológica en este sistema (Oliveira & Callisto, 2010).

Adicionalmente, la presencia de decápodos como *Macrobrachium* sp. y *M. emarginatus* sugiere una mayor heterogeneidad de microhábitats y estabilidad hidrológica, condiciones que favorecen la permanencia de organismos de mayor tamaño y requerimientos ecológicos específicos. En particular, el género *Macrobrachium* ha sido reconocido como sensible a contaminantes y útil como bioindicador en ecosistemas dulceacuícolas (Ahmed & Lodhi, 2024; Castro, 2025), lo cual respalda su relevancia en la evaluación ecológica del sistema.

En contraste, la subcuenca del río Camoa mostró una estructura comunitaria simplificada y dominada por Hydropsychidae. Esta familia es conocida por su capacidad de colonizar ambientes con corrientes moderadas a fuertes y alta disponibilidad de materia orgánica en suspensión, donde sus larvas construyen redes filtradoras eficientes (López *et al.*, 2015; Mosquera-Murillo, 2019). Su dominancia en el sistema sugiere condiciones hidráulicas favorables, pero también puede estar asociada a un incremento en la carga orgánica o a una simplificación del hábitat que limita la presencia de otros grupos más sensibles.

La presencia de otras familias como Elmidae y Philopotamidae, aunque en baja abundancia, indica la existencia de microhábitats con condiciones localmente favorables dentro del río, lo que sugiere una heterogeneidad ambiental a pequeña escala (Passos *et al.*, 2018). Este patrón es común en sistemas con perturbaciones no uniformes, donde coexisten zonas degradadas con parches de relativa estabilidad ecológica.

Los resultados del índice BMWP/Col corroboran estas observaciones, mostrando una calidad de agua "dudosa" en la quebrada y "crítica" en el río. Este contraste coincide con la menor diversidad, equidad y riqueza observadas en el río, lo cual refuerza la relación entre la calidad del agua y la estructura de las comunidades biológicas (Roldán-Pérez, 2016; Perea *et al.*, 2019). En este sentido, la coherencia entre los indicadores fisicoquímicos, biológicos y métricos de diversidad fortalece la interpretación de un mayor grado de perturbación en el río Camoa.

A pesar de que, desde una perspectiva hidrológica, podría esperarse una mayor diversidad en el río debido a su mayor tamaño, los resultados muestran un patrón inverso. Esto sugiere que factores como la heterogeneidad del hábitat, la cobertura vegetal ribereña, la disponibilidad de refugios y la estabilidad del sustrato desempeñan un papel más determinante que el tamaño del cauce en la estructuración de las comunidades de macroinvertebrados (Ramírez & Gutiérrez-Fonseca, 2014). En este caso, la quebrada presenta condiciones más favorables para el mantenimiento de una comunidad diversa y equilibrada.

Finalmente, este estudio aporta información relevante sobre la estructura de las comunidades de macroinvertebrados en ecosistemas lóticos del piedemonte llanero, una región donde aún persisten importantes vacíos de conocimiento (Rodríguez *et al.*, 2017). No obstante, es importante reconocer limitaciones como el tamaño muestral, la resolución taxonómica alcanzada y la ausencia de variables limnológicas adicionales, las cuales pueden restringir la interpretación de los patrones ecológicos observados. Aun

así, los resultados constituyen una base sólida para futuras investigaciones orientadas al monitoreo ecológico y la conservación de los sistemas acuáticos de la región.

Los resultados obtenidos evidencian que las condiciones fisicoquímicas del agua influyen de manera directa sobre la estructura, composición y diversidad de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en los sistemas lóticos evaluados de la Reserva Natural El Caduceo. Variables como la temperatura, el pH y los sólidos disueltos totales se relacionaron con cambios en la riqueza taxonómica, la equidad y la dominancia de los ensamblajes biológicos.

La quebrada presentó una mayor diversidad alfa, expresada en valores superiores de riqueza (q0), diversidad de Shannon (q1) y Simpson (q2), lo que indica una comunidad más equilibrada y con menor dominancia. En contraste, la subcuenca del río Camoa mostró una estructura comunitaria simplificada, caracterizada por una fuerte dominancia de la familia Hydropsychidae, lo que sugiere condiciones ambientales más restrictivas o perturbadas.

Los valores del índice BMWP/Col confirmaron estas diferencias ecológicas, clasificando la quebrada como un sistema de calidad del agua dudosa (moderadamente contaminada), mientras que el río Camoa fue categorizado como un sistema de calidad crítica (altamente contaminado). Esta correspondencia entre indicadores biológicos y métricas de diversidad respalda la utilidad de los macroinvertebrados como herramientas confiables para la evaluación de la calidad del agua.

La presencia de taxones sensibles como Ephemeroptera, Plecoptera y Psephenidae en la quebrada sugiere que este sistema aún conserva condiciones ecológicas favorables que permiten la persistencia de organismos intolerantes a la contaminación. Por el contrario, la dominancia de taxones funcionalmente adaptados a corrientes y materia orgánica en suspensión en el río indica una posible alteración del hábitat y un mayor nivel de presión ambiental.

Los resultados destacan que factores como la heterogeneidad del hábitat, la disponibilidad de sustrato, la cobertura vegetal ribereña y la estabilidad hidrológica pueden ser más determinantes que el tamaño del cauce en la estructuración de las comunidades de macroinvertebrados, lo que explica la mayor diversidad observada en la quebrada frente al río.

Finalmente, este estudio aporta información base sobre la ecología de macroinvertebrados en ecosistemas del piedemonte llanero colombiano, una región con vacíos significativos de conocimiento. No obstante, se recomienda ampliar futuros estudios mediante un mayor número de réplicas, una resolución taxonómica más detallada y la inclusión de variables limnológicas adicionales, con el fin de fortalecer la comprensión de los patrones ecológicos y mejorar las estrategias de monitoreo y conservación de estos sistemas acuáticos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su más sincero agradecimiento a la Reserva Natural El Caduceo, ubicada en el municipio de San Martín, Meta (Colombia), por permitir el desarrollo de las actividades de campo en sus instalaciones y por su compromiso con la conservación de los ecosistemas naturales. Agradecemos especialmente al docente Sergio Córdoba, quien en el marco de la Práctica Integrada I orientó y fortaleció la formulación de la idea de investigación, aportando significativamente al enfoque conceptual y metodológico del presente estudio. Este trabajo fue financiado y aprobado por el Programa de Biología coordinado por el profesor Óscar Javier Mahecha Jiménez, adscrito a la Facultad de Ciencias Matemáticas y Naturales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, institución que brindó el respaldo académico y administrativo necesario para su ejecución. Asimismo, extendemos nuestro reconocimiento a la Coordinación de Laboratorios de Biología, en cabeza del profesor Luis Armando Quevedo, así como al Grupo de Investigación de Alta Montaña (BAM) y a su director Abelardo Rodríguez Bolaños, y al Semillero de Investigación en Limnología, Ecología Acuática y Entomología (SILEAT), liderado por el docente Gustavo Giraldo, quienes facilitaron equipos y materiales fundamentales para el trabajo de campo, incluyendo redes de muestreo, kit Aquamerck y sondas multiparámetro. De igual manera, agradecemos al Grupo de Investigación en Artrópodos KUMANGUI, al profesor Alexander García García y a Santiago Ortegón Cardona, por su valioso apoyo en la fase de laboratorio, proporcionando equipos como estereoscopios y claves taxonómicas especializadas que permitieron la adecuada identificación de los organismos recolectados. Finalmente, agradecemos a todas las personas que, directa o indirectamente, contribuyeron al desarrollo exitoso de este estudio.

Author contributions: CRediT (Contributor Roles Taxonomy)

AOV = Alejandro Ortega-Veloza

JYAP = Julian Yessid Arias-Pineda

Conceptualization: JYAP

Data curation: AOV

Formal Analysis: AOV

Funding acquisition: JYAP

Investigation: AOV

Methodology: JYAP

Project administration: JYAP

Resources: AOV

Software: AOV

Supervision: JYAP

Validation: AOV

Visualization: JYAP

Writing – original draft: AOV

Writing – review & editing: JYAP

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmed, S., & Lodhi, M. A. (2024). Effect of heavy metals, cadmium and copper on freshwater prawn *Macrobrachium lamarrei lamarrei* (Crustacea: Decapoda). *International Journal of Entomology Research*, *9*, 32–36.

Capera, C. V. (2020). Estadios ninfales de *Anacroneuria* spp. (Plecoptera: Perlidae) y su relación con variables fisicoquímicas en tres microcuencas del río Combeima (Ibagué, Colombia). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, *44*, 458–470.

Caro-Caro, C. I., Torres-Mora, M. A., & Barajas-Barbosa, M. P. (2014). Ecosistemas estratégicos y disponibilidad de hábitat de la avifauna del piedemonte llanero (Colombia), como posible peligro aviario. *Acta Biológica Colombiana*, *19*, 233–244.

Carvacho-Aránguiz, C. A. (2012). *Estudio de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos y desarrollo de un índice multimétrico para evaluar el estado ecológico de los ríos de la cuenca del Limarí en Chile* [Tesis de maestría, Universidad de Barcelona].

Casallas-Pabón, D., Calvo-Roa, N., & Rojas-Robles, R. (2017). Murciélagos dispersores de semillas en gradientes sucesionales de la Orinoquia (San Martín, Meta, Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, *22*, 348–358.

Castiblanco, A., & Chinome, J. P. (2016). *Guía ilustrada de campo para el estudio de insectos acuáticos: una colecta que permite ver la vida*. Universidad Pedagógica Nacional.

Castro, C. J. J. (2025). *Patrones de distribución de los cangrejos de agua dulce de Colombia* [Trabajo de grado de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional.

Fonseca, A., & Mahecha, O. (2015). Contribución al estudio de los arácnidos (Arachnida) asociados a un bosque de galería en Meta (Colombia). *Revista Ibérica de Aracnología*, *33*, 123–128.

García-Díaz, A. V. (2024). *Ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos en dos arroyos del piedemonte llanero en la ecoreserva ASA, Acacías, Meta* [Trabajo de grado de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional.

Gutiérrez, V. G., Pontón, L. N. P., Cortés, D. T., Carrillo, J. A. P., & Toquica, J. S. R. (2020). Registro preliminar de la herpetofauna asociada a bosque de galería y a la subcuenca del río Camoa de la Reserva El Caduceo, San Martín, Meta, Colombia. *Revista Mutis*, *10*, 70–78.

Jaimes, A. M., & Granados, C. (2016). Tricópteros asociados a siete afluentes de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *87*, 118–127.

Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, *113*, 363–375.

López-Alejandra, M. M. (2020). *Ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos en un gradiente de intervención antrópica en el río Orotoy, Orinoquia colombiana* [Trabajo de grado de pregrado, Universidad de los Llanos]. Repositorio Institucional.

López, E. O., Vásquez-Ramos, J. M., & Reinoso-Flórez, G. (2015). Listado taxonómico y distribución de los tricópteros inmaduros del departamento del Tolima. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, *39*, 42–52.

Moreno, Y. M., & Gutiérrez, A. F. E. (2019). Los macroinvertebrados acuáticos y la calidad biológica del agua en una quebrada andina, Antioquia-Colombia. *Revista Politécnica*, *15*, 65–81.

Mosquera-Murillo, Z. (2019). Riqueza y distribución de tricópteros inmaduros del departamento del Chocó, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, *43*, 219–226.

Oliveira, A. L., & Callisto, M. (2010). Benthic macroinvertebrates as bioindicators of water quality in an

Atlantic forest fragment. *Iheringia. Série Zoologia*, *100*, 291–300.

Osorio, D. P., Caro, C. I., Oliveros, A. M., & Gutiérrez, L. M. (2011). *Macroinvertebrados acuáticos del río Orotoy*. Universidad de los Llanos.

Passos, M. I. S., Manzo, V., & Maier, C. A. (2018). Families Dryopidae, Elmidae, and Psephenidae. En J. H. Thorp & D. C. Rogers (Eds.), *Thorp and Covich's freshwater invertebrates*. 4th ed., pp. 583–598. Elsevier.

Perea, S. A. P., Garzón, H. A. B., Rodríguez, A. K. B., Velandia, S. S. S., Medina, D. A. A. J., & Botello-Suárez, W. A. (2019). Macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en la quebrada La Calaboza (Yopal, Casanare). *Entre Ciencia e Ingeniería*, *13*, 14–22.

Ramírez, A., & Gutiérrez-Fonseca, P. E. (2014). Functional feeding groups of aquatic insect families in Latin America: A critical analysis and review of existing literature. *Revista de Biología Tropical*, *62*(Suppl. 2), 155–167.

Rodríguez, F. M., Caro, C. I., Pinilla, G. A., & Osorio, D. P. (2017). Estado actual del conocimiento sobre microalgas del perifiton y macroinvertebrados bentónicos en el departamento del Meta, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, *22*, 274–306.

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*, 254–274.

Received January 26, 2026.

Accepted March 27, 2026.