

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

2 DOI: <https://doi.org/10.62430/rtb20262412097>

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



8

9

ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

10 Assembly of aquatic macroinvertebrates in lotic ecosystems of Reserva natural el Caduceo,
11 San Martin-Meta, Colombia

12 Ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos en ecosistemas lóticos de la Reserva natural el
13 Caduceo, San Martin-Meta, Colombia

14 Alejandro Ortega-Veloza^{1,2,3} & Julian Yessid Arias-Pineda^{1,2,3*}

15 ¹ Semillero de investigación en ecosistemas acuáticos y terrestres NEREA. Programa
16 académico de Biología, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Colombia.

17 ² Grupo de biogeografía y ecología evolutiva BEEN. Universidad Distrital Francisco José de
18 Caldas. Colombia.

19 ³ Grupo de investigación en artrópodos y otros invertebrados KUMANGUI. Universidad
20 Distrital Francisco José de Caldas. Colombia.

21 *Corresponding author: jyariasp@udistrital.edu.co

22 Titulillo: Assembly of aquatic macroinvertebrates in Colombia
23 Ortega-Veloza & Arias-Pineda

24

25 Alejandro Ortega-Veloza:  <https://orcid.org/0009-0007-1782-2624>

26 Julian Yessid Arias-Pineda:  <https://orcid.org/0000-0002-2399-7953>

27

28 RESUMEN

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

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

49 ABSTRACT

50 Aquatic macroinvertebrates are characterized by their high variability and adaptability to environmental
51 changes, allowing them to play a fundamental role in the functioning of aquatic ecosystems and making
52 them key bioindicators of water quality. This study aimed to analyze the relationship between
53 physicochemical variables of water bodies and the structure of macroinvertebrate communities in the
54 El Caduceo Natural Reserve, located in the Colombian Orinoquía piedmont. Quantitative and
55 qualitative sampling was conducted at two sites: a stream and the sub-basin of the Camoa River.
56 Physicochemical variables, including pH, temperature, total dissolved solids, and electrical

57 conductivity, were measured, and D-net, kick net, and Surber sampler were used for organism
58 collection. Taxonomic identification was performed to family and genus levels. Water quality was
59 assessed using the BMWP/Col index, and diversity and evenness metrics were estimated. Results
60 showed that the stream exhibited higher richness, diversity, and evenness, whereas the Camoa River
61 presented a simplified community dominated by tolerant taxa such as Trichoptera. BMWP/Col values
62 indicated moderately polluted conditions in the stream and highly polluted conditions in the river. These
63 findings suggest that dissolved oxygen directly influences community structure and diversity,
64 highlighting the importance of macroinvertebrates as effective tools for environmental monitoring.

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

67 INTRODUCCION

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

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

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

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

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

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

113 Estos vacíos de conocimiento pueden conducir a interpretaciones parciales del estado ecológico de los

114 ecosistemas acuáticos, especialmente cuando los estudios se restringen a periodos climáticos
115 específicos o a evaluaciones puntuales. En consecuencia, se hace necesario desarrollar investigaciones
116 que integren el análisis de variables ambientales y biológicas, con el fin de generar información robusta
117 que contribuya a la gestión sostenible de los recursos hídricos en la región.

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

125

126 **MATERIALES Y MÉTODOS**

127 **Área de estudio**

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

138 **Estaciones de muestreo**

139 Se seleccionaron dos estaciones de muestreo correspondientes a ecosistemas lóticos. La primera
140 estación se ubicó en la parte alta de la subcuenca del río Camoa (3°40'09.0" N; 73°39'28.1" W),

141 caracterizada por un sustrato predominantemente rocoso, alta luminosidad y abundante presencia de
142 organismos talófitos, briófitos y macroinvertebrados. La segunda estación se localizó en un tramo de
143 bosque de galería (3.667225 N; -73.655155 W), con menor incidencia lumínica, mayor acumulación
144 de hojarasca y un sustrato mixto rocoso-lodoso en los márgenes de la quebrada.

145 Para garantizar la representatividad espacial, en cada estación se estableció un transecto longitudinal.
146 En la quebrada se delimitó un transecto de 10,5 m, subdividido en cinco secciones de 2 m, con tres
147 réplicas por sección (15 réplicas en total). En la subcuenca del río Camoa se estableció un transecto de
148 10 m dividido en dos secciones de 5 m, con un total de seis réplicas.

149 **Caracterización morfológica de los cuerpos de agua**

150 En cada estación se registraron variables morfométricas como ancho del cauce, longitud del tramo
151 evaluado y profundidad promedio, utilizando cinta métrica y vara graduada. La velocidad superficial
152 de la corriente se estimó mediante el método del flotador. Se marcaron dos puntos a una distancia
153 conocida, se liberó un objeto flotante y se registró el tiempo de desplazamiento con cronómetro. Este
154 procedimiento se repitió cinco veces por sitio para obtener una velocidad promedio. Con estos datos se
155 estimó el caudal de cada cuerpo de agua.

156 **Variables fisicoquímicas**

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

161 **Muestreo biológico**

162 El muestreo de macroinvertebrados acuáticos combinó enfoques cualitativos y cuantitativos, en función
163 del microhábitat presente. En zonas laterales con sustratos rocosos se empleó red tipo D-net (muestreo
164 cualitativo). En sectores centrales con mayor velocidad de corriente se utilizó red de pantalla (kick net).
165 En zonas intermedias se aplicó un muestreo cuantitativo mediante red Surber (0,09 m²; malla de 500
166 µm). En cada réplica se aplicó un esfuerzo de muestreo estandarizado de dos minutos, mediante técnicas
167 de agitación, pateo y raspado del sustrato.

168 **Procesamiento del material biológico**

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

174 **Determinación taxonómica**

175 La identificación taxonómica se realizó mediante el uso de claves especializadas (Roldán, 2003),
176 alcanzando el nivel taxonómico más detallado posible (familia o género). Se reconoce que algunos
177 grupos, como el orden Trichoptera, presentan limitaciones taxonómicas en la región, lo que puede
178 restringir la resolución taxonómica en ciertos casos (López *et al.*, 2015).

179 **Análisis de datos**

180 **Diversidad alfa**

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

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

184 **q1** (diversidad de Shannon): asociada a la equidad

185 **q2** (diversidad de Simpson): asociada a la dominancia

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

187 **Índice BMWP/Col**

188 La calidad del agua se evaluó mediante el índice BMWP/Col, basado en la tolerancia de las familias de
189 macroinvertebrados a la contaminación (Roldán-Pérez, 2016). A cada familia se le asignó un valor entre
190 1 y 10, y la sumatoria total permitió clasificar la calidad del agua en categorías ecológicas.

191 **Aspectos éticos**

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

203

204 **RESULTADOS**

205 **Caracterización morfológica de los cuerpos de agua**

206 Las dos fuentes hídricas evaluadas presentaron diferencias marcadas en sus características
207 morfométricas. En la quebrada de la Reserva El Caduceo se registró un ancho promedio de 11 m, una
208 profundidad media de 0,42 m y una velocidad superficial de 0,368 m/s, lo que permitió estimar un
209 caudal de 1,699 m³/s. Por su parte, el tramo evaluado en la subcuenca del río Camoa presentó
210 dimensiones considerablemente menores, con un ancho promedio de 2,48 m, una profundidad media
211 de 0,14 m y una velocidad de 0,2 m/s, lo que corresponde a un caudal de 0,069 m³/s. Estas diferencias
212 evidencian una mayor capacidad hidráulica en la quebrada, lo cual puede favorecer una mayor
213 heterogeneidad de microhábitats y, en consecuencia, una mayor diversidad biológica.

214 **Variables fisicoquímicas**

215 Las mediciones fisicoquímicas evidenciaron variaciones entre ambas fuentes hídricas. La quebrada
216 presentó valores ligeramente inferiores de temperatura (24,7 °C) y pH (5,5), así como concentraciones
217 más bajas de sólidos disueltos totales (3 ppm), en comparación con el río Camoa (26,7 °C, pH 5,9 y 11
218 ppm, respectivamente). En cuanto a la conductividad eléctrica (μS/cm), la quebrada registró un valor
219 de 1 μS/cm, considerado atípico para sistemas naturales, por lo que se atribuye a un posible error de
220 medición o falla instrumental y no fue considerado en los análisis posteriores. El río presentó un valor
221 de 22 μS/cm, más acorde con condiciones naturales de sistemas de baja mineralización. En conjunto,

222 estos resultados sugieren que la quebrada presenta condiciones fisicoquímicas más estables y
223 posiblemente menos influenciadas por aportes externos, mientras que el río podría estar sujeto a
224 mayores variaciones ambientales.

225 **Composición de macroinvertebrados acuáticos**

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

228 En la quebrada se identificaron siete taxones, incluyendo organismos pertenecientes a órdenes sensibles
229 como Ephemeroptera (*Campylocia* sp.), Plecoptera (*Anacroneuria* sp.) y Coleoptera (Psephenidae), así
230 como grupos de tolerancia intermedia como Hemiptera (Naucoridae) y Diptera (Tipulidae). Además,
231 se registró la presencia de crustáceos decápodos (*Macrobrachium* sp. y *Moreirocarcinus emarginatus*),
232 lo que evidencia la heterogeneidad del hábitat y la disponibilidad de refugios estructurales (Tabla 1). En
233 la subcuenca del río Camoa se registraron cinco taxones, con una marcada dominancia del orden
234 Trichoptera, particularmente de la familia Hydropsychidae, que representó la mayor abundancia (n =
235 154 individuos). También se registraron familias como Philopotamidae (*Chimarra* sp.),
236 Coenagrionidae (*Argia* sp.), Elmidae y Chironomidae (Tabla 2).

237

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

239

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

240

241

242

243

244

245

246

247

248 **Tabla 2.** Familias y Taxones inferiores registradas en la parte alta de la subcuenca del río Camoa,
 249 Colombia.
 250

Clase	Orden	Familia	Taxones inferiores	Individuos
Insecta	Trichoptera	Hidrophyschidae		154
		Philopotamidae	<i>Chimarra sp.</i>	5
	Diptera	Chironomidaae		1
	Odonata	Coenagrionidae	<i>Argia sp.</i>	2
			<i>Palaemna sp.</i>	2
Coleoptera	Elmidae		1	

251

252 **Índice BMWP/Col**

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

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

259 **Composición relativa de los órdenes**

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

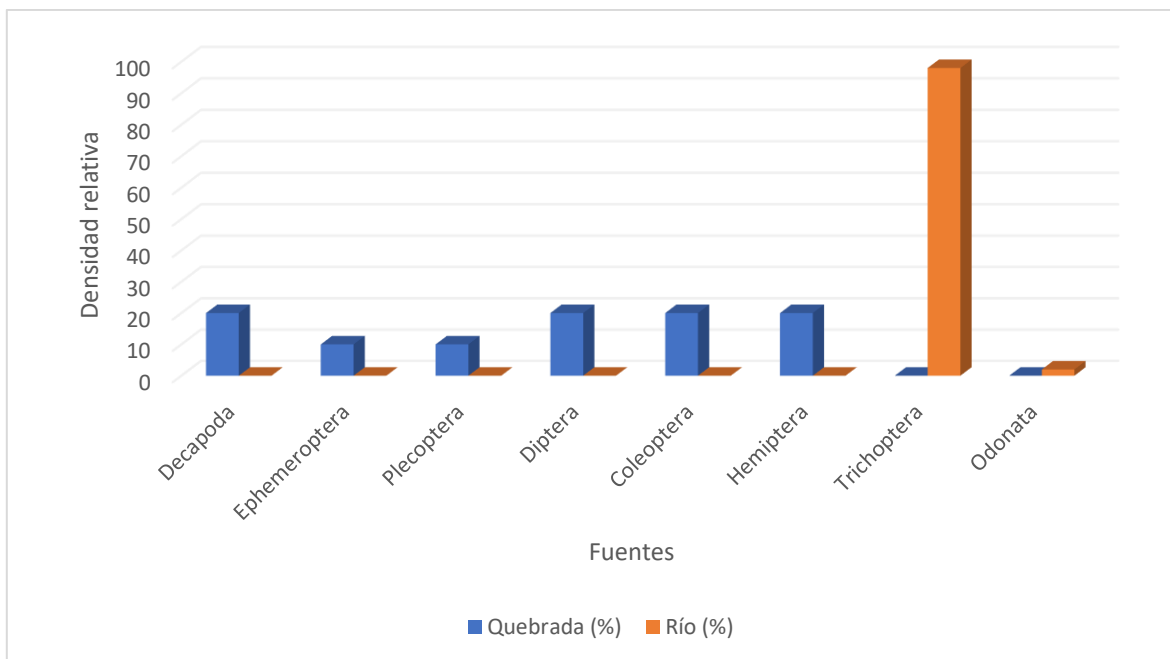


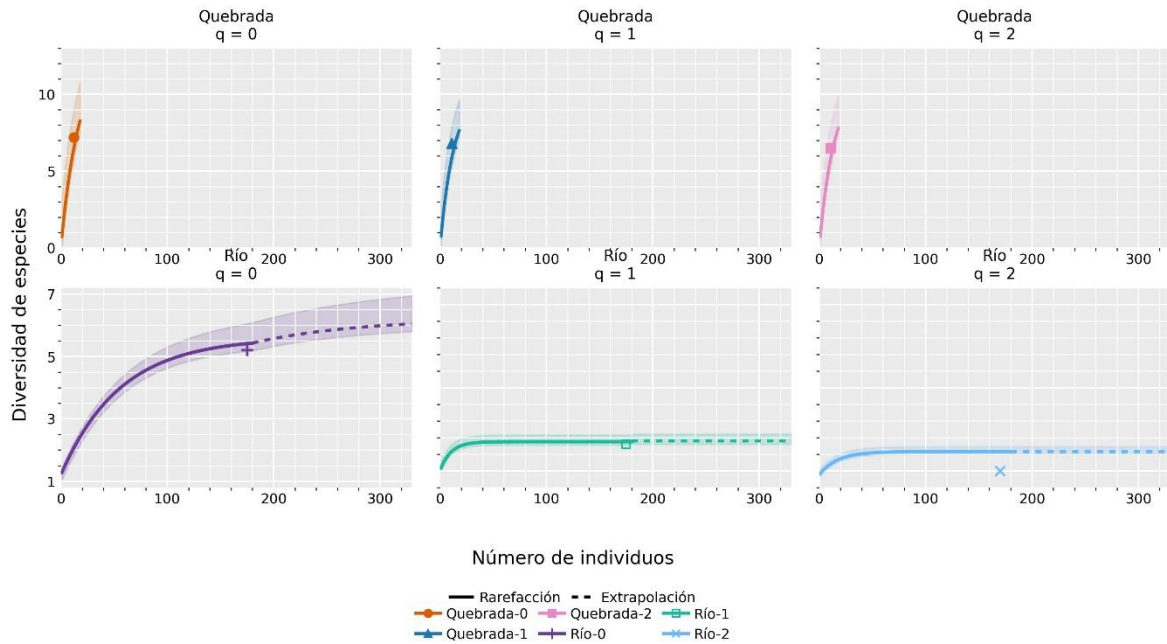
Figura 1. Densidad relativa de los órdenes obtenida para las fuentes hídricas de la reserva El Caduceo, Colombia.

268
269
270

271 **Diversidad alfa**

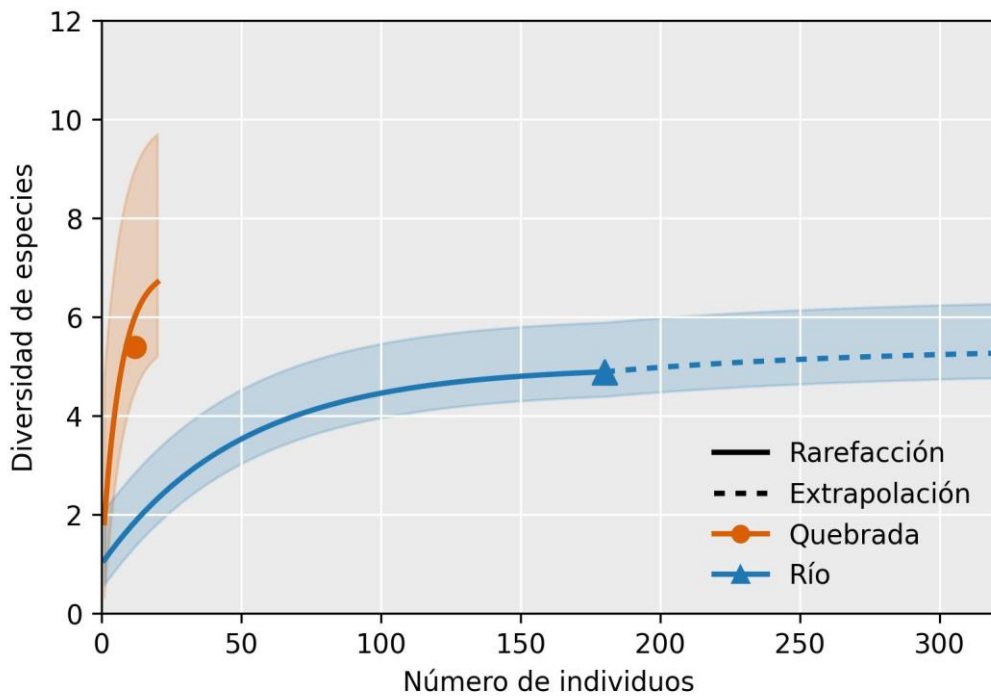
272 Los análisis de diversidad alfa, basados en los números de Hill, evidenciaron diferencias significativas
 273 entre las dos fuentes hídricas. La quebrada presentó una mayor riqueza ($q_0 = 7$), así como valores más
 274 altos de diversidad de Shannon ($q_1 = 1,88$) y Simpson ($q_2 = 0,84$), lo que indica una comunidad más
 275 equitativa y con menor dominancia. Por el contrario, el río Camoa mostró una menor riqueza ($q_0 = 5$)
 276 y valores considerablemente más bajos de Shannon ($q_1 = 0,32$) y Simpson ($q_2 = 0,12$), lo que evidencia
 277 una comunidad dominada por pocos taxones y con baja equidad (Figura 2). Las curvas de rarefacción
 278 y extrapolación confirmaron estos patrones, mostrando una mayor pendiente inicial en la quebrada,
 279 asociada a una mayor diversidad efectiva, mientras que el río presentó una curva más plana,
 280 característica de comunidades dominadas por pocos grupos. En conjunto, estos resultados indican que
 281 la quebrada alberga una comunidad de macroinvertebrados más diversa y estructuralmente equilibrada,
 282 mientras que el río presenta una comunidad simplificada y dominada, posiblemente como respuesta a
 283 condiciones ambientales más restrictivas (Figura 3).

284



285

286 **Figura 2.** Diversidad alfa correspondiente a los tres primeros números de Hill (q_0 , q_1 y q_2), para las
 287 fuentes hídricas muestreadas en el Caducedo, Colombia.



288

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

291

292

DISCUSIÓN

293 La interpretación integrada de las variables fisicoquímicas y biológicas evidencia diferencias
294 ecológicas claras entre las dos fuentes hídricas evaluadas, las cuales se reflejan en la estructura,
295 composición y diversidad de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos. En términos
296 generales, los valores registrados de pH, temperatura y sólidos disueltos totales son consistentes con
297 los reportados para sistemas del piedemonte llanero colombiano, caracterizados por aguas de baja
298 mineralización, ligeramente ácidas y con condiciones oligotróficas (Rodríguez *et al.*, 2017; Osorio *et*
299 *al.*, 2011). No obstante, las diferencias observadas entre la quebrada y el río Camoa sugieren
300 variaciones en el grado de intervención ambiental, posiblemente asociadas a presiones antrópicas
301 difusas como actividades ganaderas y aportes orgánicos, las cuales pueden modificar
302 progresivamente las condiciones del agua sin generar cambios abruptos en la conductividad
303 (Carvacho-Aránguiz, 2012).

304 En este contexto, es ampliamente reconocido que variables como el pH, la temperatura, la
305 conductividad eléctrica y la concentración de sólidos disueltos influyen directamente en la
306 distribución y abundancia de los macroinvertebrados acuáticos, actuando como filtros ecológicos que
307 determinan la composición de las comunidades (Carvacho-Aránguiz, 2012; Moreno & Gutiérrez,
308 2019). Los resultados obtenidos en este estudio confirman este patrón, evidenciando que pequeñas
309 variaciones fisicoquímicas pueden traducirse en cambios significativos en la estructura comunitaria,
310 lo cual resalta la alta sensibilidad de estos organismos como bioindicadores (Roldán-Pérez, 2016).

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

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

325 Adicionalmente, la presencia de decápodos como *Macrobrachium* sp. y *Moreirocarcinus*
326 *emarginatus* sugiere una mayor heterogeneidad de microhábitats y estabilidad hidrológica,

327 condiciones que favorecen la permanencia de organismos de mayor tamaño y requerimientos
328 ecológicos específicos. En particular, el género *Macrobrachium* ha sido reconocido como sensible a
329 contaminantes y útil como bioindicador en ecosistemas dulceacuícolas (Ahmed & Lodhi, 2024), lo
330 cual respalda su relevancia en la evaluación ecológica del sistema.

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

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

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

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

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

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

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

368 La quebrada presentó una mayor diversidad alfa, expresada en valores superiores de riqueza (q_0),
369 diversidad de Shannon (q_1) y Simpson (q_2), lo que indica una comunidad más equilibrada y con
370 menor dominancia. En contraste, la subcuenca del río Camoa mostró una estructura comunitaria
371 simplificada, caracterizada por una fuerte dominancia de la familia Hydropsychidae, lo que sugiere
372 condiciones ambientales más restrictivas o perturbadas.

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

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

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

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

393

394 **AGRADECIMIENTOS**

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

415

416 **Author contributions: CRediT (Contributor Roles Taxonomy)**

417 **AOV** = Alejandro Ortega-Veloza

418 **JYAP** = Julian Yessid Arias-Pineda

419

420 **Conceptualization:** JYAP

421 **Data curation:** AOV

422 **Formal Analysis:** AOV

423 **Funding acquisition:** JYAP

424 **Investigation:** AOV

425 **Methodology:** JYAP

426 **Project administration:** JYAP

427 **Resources:** AOV

428 **Software:** AOV

429 **Supervision:** JYAP
430 **Validation:** AOV
431 **Visualization:** JYAP
432 **Writing – original draft:** AOV
433 **Writing – review & editing:** JYAP

434

435 **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 436 Ahmed, S., & Lodhi, M. A. (2024). Effect of heavy metals, cadmium and copper on freshwater prawn
437 *Macrobrachium lamarrei lamarrei* (Crustacea: Decapoda). *International Journal of*
438 *Entomology Research*, 9, 32–36.
- 439 López-Alejandra, M. M. (2020). *Ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos en un gradiente de*
440 *intervención antrópica en el río Orotoy, Orinoquia colombiana* [Trabajo de grado de pregrado,
441 Universidad de los Llanos]. Repositorio Institucional.
- 442 García-Díaz, A. V. (2024). *Ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos en dos arroyos del*
443 *pedemonte llanero en la ecoreserva ASA, Acacías, Meta* [Trabajo de grado de pregrado,
444 Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional.
- 445 Capera, C. V. (2020). Estadios ninfales de *Anacroneturia* spp. (Plecoptera: Perlidae) y su relación con
446 variables fisicoquímicas en tres microcuencas del río Combeima (Ibagué, Colombia). *Revista de*
447 *la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 44, 458–470.
- 448 Caro-Caro, C. I., Torres-Mora, M. A., & Barajas-Barbosa, M. P. (2014). Ecosistemas estratégicos y
449 disponibilidad de hábitat de la avifauna del piedemonte llanero (Colombia), como posible peligro
450 aviario. *Acta Biológica Colombiana*, 19, 233–244.
- 451 Carvacho-Aránguiz, C. A. (2012). *Estudio de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos y*
452 *desarrollo de un índice multimétrico para evaluar el estado ecológico de los ríos de la cuenca*
453 *del Limarí en Chile* [Tesis de maestría, Universidad de Barcelona].
- 454 Casallas-Pabón, D., Calvo-Roa, N., & Rojas-Robles, R. (2017). Murciélagos dispersores de semillas en
455 gradientes sucesionales de la Orinoquia (San Martín, Meta, Colombia). *Acta Biológica*
456 *Colombiana*, 22, 348–358.
- 457 Castiblanco, A., & Chinome, J. P. (2016). *Guía ilustrada de campo para el estudio de insectos*
458 *acuáticos: Una colecta que permite ver la vida*. Universidad Pedagógica Nacional.
- 459 Castro, C. J. J. (2025). *Patrones de distribución de los cangrejos de agua dulce de Colombia* [Trabajo
460 de grado de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional.

- 461 Fonseca, A., & Mahecha, O. (2015). Contribución al estudio de los arácnidos (Arachnida) asociados a
462 un bosque de galería en Meta (Colombia). *Revista Ibérica de Aracnología*, 33, 123–128.
- 463 Gutiérrez, V. G., Pontón, L. N. P., Cortés, D. T., Carrillo, J. A. P., & Toquica, J. S. R. (2020). Registro
464 preliminar de la herpetofauna asociada a bosque de galería y a la subcuenca del río Camoa de la
465 Reserva El Caduceo, San Martín, Meta, Colombia. *Revista Mutis*, 10, 70–78.
- 466 Jaimés, A. M., & Granados, C. (2016). Tricópteros asociados a siete afluentes de la Sierra Nevada de
467 Santa Marta, Colombia. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87, 118–127.
- 468 Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113, 363–375.
- 469 López, E. O., Vásquez-Ramos, J. M., & Reinoso-Flórez, G. (2015). Listado taxonómico y distribución
470 de los tricópteros inmaduros del departamento del Tolima. *Revista de la Academia Colombiana
471 de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 39, 42–52.
- 472 Moreno, Y. M., & Gutiérrez, A. F. E. (2019). Los macroinvertebrados acuáticos y la calidad biológica
473 del agua en una quebrada andina, Antioquia-Colombia. *Revista Politécnica*, 15, 65–81.
- 474 Mosquera-Murillo, Z. (2019). Riqueza y distribución de tricópteros inmaduros del departamento del
475 Chocó, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y
476 Naturales*, 43, 219–226.
- 477 Oliveira, A. L., & Callisto, M. (2010). Benthic macroinvertebrates as bioindicators of water quality in
478 an Atlantic forest fragment. *Iheringia. Série Zoologia*, 100, 291–300.
- 479 Osorio, D. P., Caro, C. I., Oliveros, A. M., & Gutiérrez, L. M. (2011). *Macroinvertebrados acuáticos
480 del río Orotoy*. Universidad de los Llanos.
- 481 Passos, M. I. S., Manzo, V., & Maier, C. A. (2018). Families Dryopidae, Elmidae, and Psephenidae.
482 En J. H. Thorp & D. C. Rogers (Eds.), *Thorp and Covich's freshwater invertebrates*. 4th ed., pp.
483 583–598. Elsevier.
- 484 Perea, S. A. P., Garzón, H. A. B., Rodríguez, A. K. B., Velandia, S. S. S., Medina, D. A. A. J., & Botello-
485 Suárez, W. A. (2019). Macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en la
486 quebrada La Calaboza (Yopal, Casanare). *Entre Ciencia e Ingeniería*, 13, 14–22.
- 487 Ramírez, A., & Gutiérrez-Fonseca, P. E. (2014). Functional feeding groups of aquatic insect families in
488 Latin America: A critical analysis and review of existing literature. *Revista de Biología Tropical*,
489 62(Suppl. 2), 155–167.
- 490 Rodríguez, F. M., Caro, C. I., Pinilla, G. A., & Osorio, D. P. (2017). Estado actual del conocimiento
491 sobre microalgas del perifiton y macroinvertebrados bentónicos en el departamento del Meta,

492 Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 22, 274–306.
493 Roldán-Pérez, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: Cuatro
494 décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de la Academia Colombiana de*
495 *Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40, 254–274.
496 Received January 26, 2026.
497 Accepted March 27, 2026.

498
499

ASAP