




<https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop.v71i1.51538>

## Macroinvertebrados acuáticos en un gradiente altitudinal del río Garagoa, Andes orientales de Colombia

July Andrea Barrera-Herrera<sup>1\*</sup>;  <https://orcid.org/0000-0001-9545-9639>

Camila Andrea Díaz-Rojas<sup>1</sup>;  <https://orcid.org/0000-0001-9134-7453>

Narcís Prat<sup>2</sup>;  <https://orcid.org/0000-0002-1550-1305>

Camilo Andrés Roa-Fuentes<sup>1</sup>;  <https://orcid.org/0000-0002-4461-8019>

1. Grupo de Investigación Unidad de Ecología en Sistemas Acuáticos, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia; andreba93@hotmail.com (\*Correspondencia), camila.diaz@uptc.edu.co, camilo.roa@gmail.com
2. Freshwater Ecology, Hydrology and Management (FEHM) Research Group, Departament de Biologia Evolutiva, Ecologia i Ciències Ambientals, Facultat de Biologia, Universitat de Barcelona, España; nprat@ub.edu

Recibido 02-XI-2022. Corregido 07-III-2023. Aceptado 08-VI-2023.

### ABSTRACT

#### Aquatic macroinvertebrates in an altitudinal gradient of the Garagoa river, eastern Andes of Colombia

**Introduction:** The taxonomic identification of aquatic macroinvertebrates allows characterizing biodiversity in aquatic ecosystems, but in many cases some groups (e.g. Diptera) are not classified to the same taxonomic level than other due to difficulties and poor knowledge on these groups. It becomes relevant in regions little studied and affected by anthropic pressures, such as the Garagoa River in the department of Boyacá, Colombia.

**Objective:** To study the biodiversity of aquatic macroinvertebrates from Garagoa river at the lowest taxonomical level possible in an altitudinal gradient.

**Methods:** From March to June 2021, samples were taken at 40 sites in an altitudinal gradient between 500 and 2887 m.a.s.l., performing a stratified aleatory sampling (36 Surber nets per site).

**Results:** A total of 70 taxa were reported, however, using a rarefaction technique, the estimated richness for the Garagoa River may be greater than 104 taxa. The orders with the largest number of taxa were: Diptera, Coleoptera, Trichoptera and Ephemeroptera with Chironomidae, Elmidae and Baetidae being the families with the richest genera. Several genera have a wide distribution along the Garagoa River as *Simulium*, *Parachironomus*, *Cardiocladius*, *Leptonema*, *Heterelmis*, *Neoelmis* and *Baetodes*. The phi-IndVal analysis allowed us to select representative taxa at different altitudes. Thus, *Leptyphes* and *Belostoma* are common with relatively low altitudes, while *Culoptila*, *Lumbriculus* and *Physa* are representative of intermediate altitudes. Finally, *Gundlachia*, *Dugesia* and *Pentaneura* were exclusive and frequent at the higher altitude sites.

**Conclusions:** The composition of the aquatic macroinvertebrate community presented notable differences with respect to the evaluated altitudinal gradient that contrasted with the expected biodiversity patterns. The importance of including taxa that are not generally reported in biodiversity studies is highlighted to better understand the distribution patterns of aquatic communities in Andean streams.

**Key words:** Andean foothills; Garagoa river; Meta river; neotropics; taxonomic sufficiency.

### RESUMEN

**Introducción:** La información taxonómica de macroinvertebrados acuáticos brinda información importante para caracterizar la biodiversidad en ecosistemas acuáticos, pero en muchos casos, algunos grupos (e.g. Diptera) no



se clasifican al mismo nivel taxonómico que otros debido a las dificultades y el escaso conocimiento sobre estos. Esta situación toma mayor relevancia en regiones poco estudiadas y/o afectadas por presiones antrópicas como en el río Garagoa en el departamento de Boyacá, Colombia.

**Objetivo:** Estudiar la biodiversidad de los macroinvertebrados acuáticos del río Garagoa al nivel taxonómico más bajo posible en un gradiente altitudinal.

**Métodos:** Entre marzo y junio de 2021 se tomaron muestras en 40 sitios abarcando un gradiente altitudinal entre 500 y 2 887 m.s.n.m., realizando un muestreo aleatorio estratificado (36 redes Surber por sitio).

**Resultados:** Se registraron un total de 70 taxones, sin embargo, usando una técnica de rarefacción, la riqueza estimada para el río Garagoa puede ser superior a 104 taxones. Los órdenes con el mayor número de taxones fueron: Diptera, Coleoptera, Trichoptera y Ephemeroptera, siendo Chironomidae, Elmidae y Baetidae las familias más ricas en géneros. Varios géneros tienen una amplia distribución a lo largo del río Garagoa como *Simulium*, *Parachironomus*, *Cardiocladius*, *Leptonema*, *Heterelmis*, *Neoelmis* y *Baetodes*. El análisis phi-IndVal nos permitió seleccionar taxones representativos en diferentes altitudes. Así, *Leptohyphes* y *Belostoma* son comunes en altitudes relativamente bajas, mientras que *Culoptila*, *Lumbriculus* y *Physa* son representativos de altitudes intermedias. Finalmente, *Gundlachia*, *Dugesia* y *Pentaneura* fueron exclusivos y frecuentes en los sitios de mayor altitud.

**Conclusiones:** La composición de comunidad de macroinvertebrados acuáticos en el río Garagoa presentó diferencias notables respecto al gradiente altitudinal evaluado que contrastaron con los patrones de biodiversidad esperados. Se resalta la importancia de incluir taxones que generalmente no se informan en los estudios de biodiversidad, para comprender mejor los patrones de distribución de las comunidades acuáticas en arroyos de los Andes.

**Palabras clave:** piedemonte andino; río Garagoa; río Meta; neotrópico; suficiencia taxonómica.

## INTRODUCCIÓN

El sistema montañoso de los Andes representa un papel fundamental en el clima global y regional, actúa como refugio, barrera y tránsito para las especies. Además, allí se originan la mayoría de los ecosistemas lóticos que son cruciales para la supervivencia y sostenibilidad de múltiples comunidades humanas en América del Sur (Perrigo et al., 2020). Estos ecosistemas se caracterizan por su interacción con los ecosistemas terrestres, lo cual se evidencia en funciones clave como el procesamiento de materia orgánica terrestre, la retención de nutrientes y el soporte de la biodiversidad (Vannote et al., 1980). Por estas razones, los sistemas lóticos andinos deben ser objeto de estudio para su conservación y manejo.

El gradiente altitudinal que incide sobre los ríos altoandinos en el Neotrópico es uno de los principales impulsores del establecimiento y ensamblaje de la biota acuática, al igual que las características ambientales a escala de mesohábitat, como tipo de flujo y sustrato (Ríos-Touma et al., 2011). Estas se relacionan con la heterogeneidad de entornos y son

predictores de la composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos (González-Trujillo, 2016; Silva et al., 2014). Para la vertiente del río Orinoco en Colombia se distinguen varias ecorregiones de agua dulce, existen cinco clasificadas por su posición latitudinal, altitudinal, geomorfología y composición biológica (piedemonte bajillanura, bajillanura, piedemonte altillanura guayanesa, altillanura guayanesa y serranía de La Macarena) (Mesa et al., 2016). Además, se conocen diez ecorregiones bajo un enfoque ecosistémico de ambientes terrestres y acuáticos (zona de transición Orinoco-Amazonas, delta del Orinoco, corredor medio Orinoco, corredor bajo Orinoco, corredor alto Orinoco, guayanesa, costera, andina, llanera y altillanura orinoquense) (Lasso et al., 2010). La cuenca del río Orinoco presenta presiones antrópicas que pueden generar cambios en los ciclos hidrológicos y biológicos naturales, afectando directa e indirectamente la biota acuática que se establece en los ecosistemas lóticos (Machado-Allison et al., 2011). Predominan actividades como la deforestación, construcción de embalses, agricultura, ganadería, minería, introducción de especies exóticas y

sobrepesca, que afectan también a los afluentes altoandinos de la cuenca (Barletta et al., 2010; Corpochivior, 2018; Lasso et al., 2016).

Los macroinvertebrados acuáticos se utilizan para evaluar la calidad ecológica de los ecosistemas lóticos, ya que permiten evidenciar efectos de presiones ambientales y antrópicas como la modificación de caudales, el impacto de especies exóticas, los cambios en el uso del suelo y las modificaciones físicas en las cuencas hidrográficas (Fierro et al., 2019; Prat et al., 2009). La identificación de los diferentes grupos de macroinvertebrados acuáticos a una resolución taxonómica adecuada es fundamental para demostrar su respuesta a cambios en la calidad ambiental del recurso hídrico (Encalada et al., 2019; Roldán-Pérez, 2016). Además, la determinación de taxones representativos del hábitat es particularmente útil en procesos de conservación o manejo ecológico (De Cáceres et al., 2012). Por ejemplo, una especie restringida a uno o unos pocos tipos de hábitat, representa un mejor indicador ecológico del cambio ambiental que una especie generalista de hábitat, debido a la mayor susceptibilidad del especialista a la extinción local o regional (Carignan & Villard, 2002; De Cáceres & Legendre, 2009).

Sin embargo, las investigaciones desarrolladas para sistemas lóticos en Sudamérica y específicamente para Colombia de los grupos con mayor diversidad, abundancia y biomasa aún son insuficientes (Encalada et al., 2019; Roldán-Pérez, 2016). La ausencia de datos básicos sobre composición, estructura y distribución de especies limita el éxito de cualquier medida de control, manejo y/o conservación de los ecosistemas lóticos (Johnson et al., 2007; Wahl et al., 2013). Para los sistemas lóticos de la Orinoquia se destacan las investigaciones de Granados-Martínez y Batista (2017) que identificaron 74 taxones distribuidos en 43 familias en Caño Cristales (Meta) y donde los órdenes Díptera, Trichoptera y Odonata fueron los más abundantes. El trabajo de Lasso et al., (2020) en la reserva natural Bojonawi (Vichada), registra 184 morfoespecies distribuidas en 66 familias, donde los órdenes Coleoptera,

Odonata, Hemiptera y Díptera fueron los más diversos. Otros estudios que recopilan valiosa información de macroinvertebrados acuáticos en esta región son Lozano et al., (2015), Granados-Martínez y Montoya (2017), Salinas-Jiménez et al., (2017) y Granados-Martínez et al., (2018).

En los sistemas lóticos andinos de Colombia que vierten hacia la cuenca del Orinoco se han desarrollado algunos estudios que informan sobre la diversidad de macroinvertebrados. Por ejemplo, Motta-Díaz y Vimos-Lojano (2020), identificaron 57 taxones para la quebrada Agua Blanca (departamento de Boyacá, subcuenca del río Meta), distribuidos principalmente dentro de los órdenes Coleoptera, Díptera y Trichoptera; las familias más abundantes fueron Simuliidae y Sericostomatidae, y dentro de los géneros, *Leptohyphes*, *Smicridea* y *Helicopsyche*. Por otra parte, González-Trujillo et al., (2020), reporta 74 taxones dentro de cinco quebradas altoandinas (departamento de Cundinamarca, subcuenca del río Meta) donde los géneros representativos detectados en un hábitat particular fueron *Metrichia*, *Gigantodax*, *Nectopsyche*, *Onychelmis*, *Elodes*, *Podonopsis*, *Hyaella* y *Microcara*.

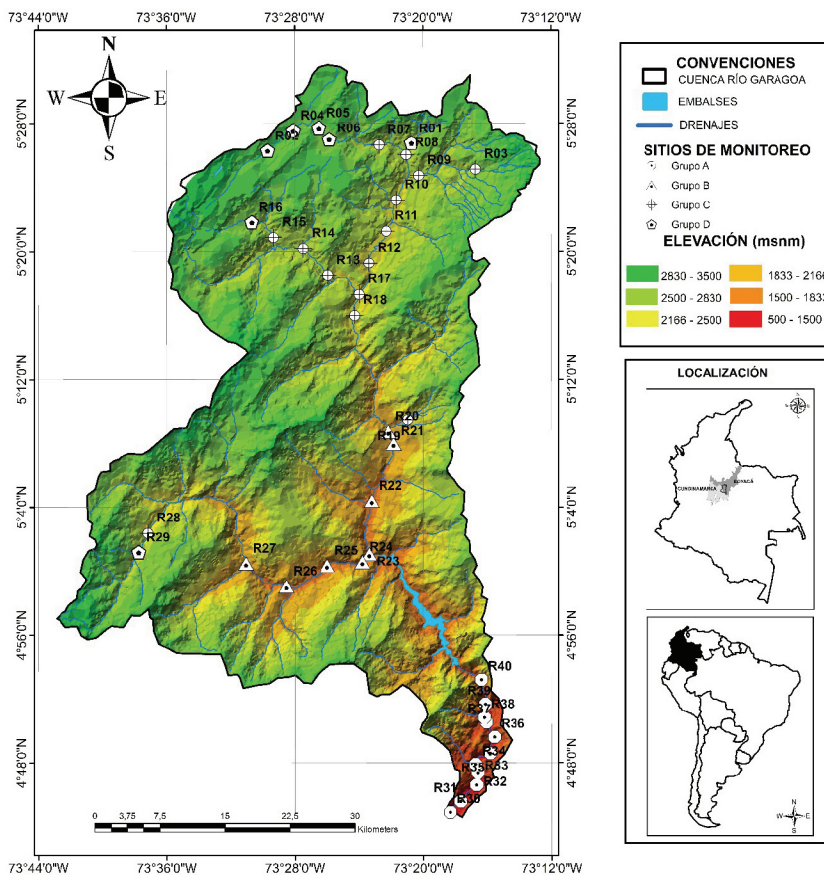
El objetivo de este trabajo fue determinar la composición de géneros de macroinvertebrados acuáticos del río Garagoa, departamentos de Boyacá y Cundinamarca, en Colombia. Al obtenerse muestras en un gradiente altitudinal amplio (500 a 2 887 m.s.n.m.) que comprende parte del piedemonte y la región andina, también se estableció la distribución altitudinal de los taxones y se identificaron géneros representativos para diferentes gradientes de altitud. Se evaluó la suficiencia taxonómica (ST), es decir el nivel de detalle taxonómico con el que se deben identificar los organismos, para reconocer la condición biológica o los patrones ecológicos con una certeza aceptable (Jones, 2008). Por último, se discute la importancia de los patrones de distribución de los taxones para explicar las diferencias que existen con respecto a la altitud.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio:** La cuenca del río Garagoa se ubica en el margen oriental de la cordillera oriental de Colombia y pertenece a la zona hidrográfica del río Meta dentro de la macrocuenca del río Orinoco. Este ecosistema lótico nace en el páramo de Rabanal en el municipio de Samacá a una altura de 3450 m.s.n.m. y desemboca en el río Guavio a una altura de 500 m.s.n.m. Tiene una superficie aproximada de 250 000 ha, donde el 80 % pertenece al departamento de Boyacá y el 20 % a Cundinamarca. La temperatura promedio de la cuenca varía entre 13.4 °C, en la parte alta, y 18.8 °C, en la parte baja; la precipitación presenta un régimen monomodal en gran parte de la cuenca, con

precipitaciones máximas en junio (hasta 600 mm/mes) y mínimas de diciembre a febrero (< 100 mm/mes) (Corpochivor, 2018).

**Métodos de muestreo:** Los muestreos se realizaron entre marzo y junio de 2021, durante la transición de épocas hidroclimáticas (seca a lluvia), en 40 sitios que abarcaron la heterogeneidad de hábitat a escala de paisaje, meso y microhábitats de la cuenca (Corpochivor, 2018; Frissell et al., 1986), ubicados en un gradiente altitudinal entre 500 y 2 887 m.s.n.m. (Fig. 1, Tabla 1). La elección final de cada sitio consideró la facilidad de acceso y el consentimiento de los propietarios. Cada sitio correspondía a un segmento de 100 m de longitud de río, en



**Fig. 1.** Sitios de muestreo en la cuenca del río Garagoa, Boyacá, Colombia. Fuente: Autores. Mapa generado usando ArcGIS®. / **Fig. 1.** Sampling sites in the Garagoa river basin, Boyacá, Colombia. Source: Authors. Map generated using ArcGIS®.

**Tabla 1**

 Sitios de muestreo, elevación, orden limnológico y riqueza en la cuenca del río Garagoa. / **Table 1.** Sampling sites, elevation, limnological order and richness in the Garagoa river basin.

Sitios de muestreo	N	W	Elevación (m.s.n.m.)	Cuerpo de agua	Orden limnológico (Horton - Strahler)*	Riqueza
R01	5°26'48"	73°20'42"	2 773	Río Teatinos	5	14
R02	5°26'19"	73°29'41"	2 887	Río Teatinos	5	11
R03	5°25'08"	73°16'43"	2 267	Río Juyasia	5	7
R04	5°27'35"	73°28'06"	2 885	Río Teatinos	5	14
R05	5°27'44"	73°26'30"	2 743	Río Teatinos	5	13
R06	5°27'02"	73°25'50"	2 731	Río Teatinos	5	12
R07	5°26'40"	73°22'45"	2 013	Río Teatinos	5	10
R08	5°26'03"	73°21'03"	2 165	Río Teatinos	5	29
R09	5°24'45"	73°20'16"	2 112	Río Juyasia	5	29
R10	5°23'14"	73°21'39"	2 083	Río Tibaná	6	21
R11	5°21'16"	73°22'17"	2 059	Río Tibaná	6	18
R12	5°19'16"	73°23'23"	2 013	Río Tibaná	6	19
R13	5°18'30"	73°25'56"	2 106	Río Turmequé	5	13
R14	5°20'11"	73°27'29"	2 082	Río Turmequé	5	14
R15	5°20'52"	73°29'19"	2 234	Río Turmequé	5	10
R16	5°21'50"	73°30'41"	2 430	Río Turmequé	5	11
R17	5°17'19"	73°23'59"	1 960	Río Garagoa	6	17
R18	5°16'00"	73°24'16"	1 921	Río Garagoa	6	16
R19	5°09'28"	73°20'57"	1 732	Río Garagoa	6	12
R20	5°08'44"	73°22'10"	1 492	Río Garagoa	6	19
R21	5°07'59"	73°21'50"	1 473	Río Garagoa	6	19
R22	5°04'24"	73°23'13"	1 340	Río Garagoa	6	14
R23	5°01'04"	73°23'22"	1 269	Río Garagoa	6	9
R24	5°00'34"	73°23'48"	1 275	Río Súnuba	6	13
R25	5°00'21"	73°25'59"	1 307	Río Súnuba	6	2
R26	4°59'03"	73°28'32"	1 370	Río Súnuba	6	12
R27	5°00'29"	73°31'04"	1 424	Río Súnuba	6	9
R28	5°02'23"	73°37'10"	2 046	Río Súnuba	6	10
R29	5°01'12"	73°37'45"	2 790	Río Súnuba	6	9
R30	4°44'55"	73°18'19"	500	Río Batá	7	0
R31	4°45'35"	73°17'40"	523	Río Batá	7	2
R32	4°46'37"	73°16'41"	559	Río Batá	7	4
R33	4°47'23"	73°16'36"	573	Río Batá	7	7
R34	4°47'54"	73°16'45"	620	Río Batá	7	5
R35	4°48'36"	73°15'50"	659	Río Batá	7	0
R36	4°49'37"	73°15'34"	711	Río Batá	7	7
R37	4°50'32"	73°16'04"	958	Río Batá	7	1
R38	4°50'50"	73°16'12"	861	Río Batá	7	4
R39	4°51'40"	73°16'08"	1 022	Río Batá	7	2
R40	4°53'12"	73°16'22"	1 030	Río Batá	7	9

\*Información tomada de Corpochivor (2018). / \*Information taken from Corpochivor (2018).



el cual los macroinvertebrados acuáticos se recolectaron con red Surber (300  $\mu$ m diámetro de poro), realizando un muestreo aleatorio estratificado (36 Surber por sitio) teniendo en cuenta los mesohábitats (rápido, corriente, tabla y pozo) y microhábitats (bloque, canto, grava, limo, arena y hojarasca) en cada tramo y removiendo el sustrato durante un minuto (Rodrigues-Capítulo et al., 2009; Silveira et al., 2004). Adicionalmente se recolectaron ejemplares con red de arrastre (1.5 m de alto x 3.0 m de ancho y 5 mm diámetro de poro). Las muestras se conservaron con alcohol al 70 % y posteriormente se transportaron al laboratorio (Wetzel & Likens, 2000).

**Métodos de laboratorio:** La identificación taxonómica se realizó mediante uso de las claves taxonómicas McCafferty y Provonsha (1981), Roldán-Pérez (1988), Machado y Rincón (1989), Ruíz-Moreno et al., (2000a), Ruíz-Moreno et al., (2000b), Domínguez (2006), Valencia y Campos (2007); Domínguez y Fernández (2009), Springer et al., (2010), Campos (2014), Gutiérrez y Dias (2015), Prat et al., (2018), Hamada et al., (2018), Damborenea et al., (2020), González-Córdoba et al., (2020a), bajo observación en estereoscopios marca Zeiss modelos STEMI 305 y 508, que permitieron obtener el menor nivel taxonómico posible. El material biológico fue depositado en la Colección Limnológica (UPTC-L) de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (números de catálogo M-291 a M-554). Información adicional sobre el conjunto de datos se proporciona en Barrera-Herrera et al. (2022).

**Tratamiento de datos:** Para estimar la riqueza de taxones se utilizaron los estimadores no paramétricos Chao 2, Jackknife 1, Jackknife 2 y Bootstrap con datos de presencia-ausencia de los taxones (Gotelli & Chao, 2013). Posteriormente se graficaron las curvas de acumulación de especies, lo cual permitió evaluar la relación entre el esfuerzo de muestreo y el número de taxones observados y con ello obtener información sobre la confiabilidad del muestreo. Adicionalmente, se realizó un

análisis de macroinvertebrados representativos del hábitat (utilizando los taxones recolectados con red Surber), con el objeto de identificar la relación entre especies y grupos de sitios mediante el coeficiente de correlación phi de Pearson que permite establecer preferencias ecológicas de las especies con respecto a los sitios (De Cáceres, 2020). Se establecieron cuatro grupos de sitios diferenciados cada uno por una escala altitudinal de 600 m; Grupo A, representado por nueve sitios y un gradiente altitudinal entre 500 y 1 100 m.s.n.m.; Grupo B, ocho sitios, 1 100-1 700 m.s.n.m.; Grupo C, 14 sitios, 1 700-2 300 m.s.n.m.; y Grupo D, siete sitios, 2 300-2 900 m.s.n.m. (Fig. 1).

Los sitios de monitoreo se compararon para evaluar disimilitudes en la composición de la comunidad de macroinvertebrados a lo largo del gradiente altitudinal, mediante la prueba no paramétrica PERMANOVA, un análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) utilizando el índice de Sorensen (o Bray-Curtis binario) y una prueba Pairwise. Como complemento se realizó una prueba SIMPER para conocer los macroinvertebrados acuáticos que contribuyen a la disimilitud entre los grupos de sitios establecidos. En los sitios R30 y R35 no se reportaron ejemplares, por lo tanto, se excluyeron del análisis. Los análisis PERMANOVA, NMDS, Pairwise y SIMPER se realizaron tanto a nivel de género como de familia con el propósito de evaluar la suficiencia taxonómica (ST) propuesta por Ellis (1985) y corroborar si se observa el mismo patrón para la comunidad respecto al gradiente altitudinal evaluado. Los análisis se realizaron en el software de acceso libre R versión 3.5.3 (RStudio Team, 2018) con los paquetes Vegan (Oksanen et al., 2013) para NMDS, PERMANOVA, Pairwise y SIMPER; BiodiversityR (Kindt & Kindt, 2019) para estimadores de riqueza y el paquete Indicspecies (De Cáceres et al., 2016) para macroinvertebrados representativos del hábitat.

Con el propósito de identificar diferencias respecto a la riqueza de taxones se contrastaron nuestros resultados con la información obtenida en investigaciones previas realizadas en

el área de estudio (Gil, 2014; González-Tuta y Gil-Padilla, 2020). Finalmente se discutieron los patrones de distribución de los grupos taxonómicos más representativos con base en diferentes reportes de investigación publicados.

## RESULTADOS

**Macroinvertebrados acuáticos:** En el río Garagoa se registraron un total de 70 taxones

de macroinvertebrados acuáticos distribuidos en 48 familias y 16 ordenes (Tabla 2). El orden Diptera presentó el mayor número de géneros con 22, seguido de Coleoptera, Trichoptera, Ephemeroptera y Hemiptera con 11, nueve, seis y cinco géneros, respectivamente. De acuerdo con los estimadores de riqueza Chao2, Jackknife1, Jackknife2 y Bootstrap, se obtuvo una representatividad del muestreo del 70.4, 76.6, 66.7 y 88.4 %, respectivamente (Fig. 2).

**Tabla 2**

Macroinvertebrados acuáticos del río Garagoa, cuenca hidrográfica del Orinoco. / **Table 2.** Taxonomic list of aquatic macroinvertebrates of the Garagoa River, Orinoco hydrographic basin.

TRICLADIDA	Familia Chironomidae
Familia Dugesiidae	<i>Apsectrotanypus</i> Fittkau, 1962
<i>Dugesia</i> Girard, 1850	<i>Pentaneura</i> Philippi, 1865
LUMBRICULIDA	<i>Corynoneura</i> Winnertz, 1846
Familia Lumbriculidae	<i>Onconeura</i> Andersen & Sæther, 2005
<i>Lumbriculus</i> Grube, 1844	<i>Cardiocladius</i> Kieffer, 1912
TUBIFICIDA	<i>Cricotopus</i> Wulp, 1874
Familia Naididae Ehrenberg, 1828	<i>Parachironomus</i> Lenz, 1921
SPHAERIIDA	<i>Paracladopelma</i> Harnisch, 1923
Familia Sphaeriidae	<i>Paratanytarsus</i> Thienemann & Bause, 1913
<i>Pisidium</i> C.Pfeiffer, 1821	Familia Empididae
BASOMMATOPHORA	<i>Hemerodromia</i> Meigen, 1822
Familia Physidae	Familia Psychodidae
<i>Physa</i> Draparnaud, 1801	<i>Clogmia</i> Enderlein, 1937
Familia Planorbidae	<i>Maruina</i> Muller, 1895
<i>Gundlachia</i> L. Pfeiffer, 1849	Familia Simuliidae
<i>Drepanotrema</i> P. Fischer & Crosse, 1880	<i>Simulium</i> Latreille, 1802
EPHEMEROPTERA	Familia Limoniidae
Familia Baetidae	<i>Antocha</i> Osten-Sacken, 1860
<i>Baetodes</i> Needham & Murphy, 1924	<i>Limonia</i> Meigen, 1803
<i>Camelobaetidius</i> Demoulin, 1966	Familia Tipulidae
<i>Americabaetis</i> Kluge, 1992	<i>Tipula</i> Linnaeus, 1758
<i>Nanomis</i> Lugo-Ortiz & McCafferty, 1999	Familia Tabanidae
Familia Leptophlebiidae	<i>Tabanus</i> Linnaeus, 1758
<i>Farrodes</i> Peters, 1971	Familia Syrphidae
Familia Leptohiphidae	<i>Eristalis</i> Latreille, 1804
<i>Leptohiphes</i> Eaton, 1882	HEMIPTERA
PLECOPTERA	Familia Belostomatidae
Familia Perlidae	<i>Belostoma</i> Latreille, 1807
<i>Anacroneturia</i> Klapálek, 1909	Familia Gerridae
ODONATA	<i>Charmatometra</i> Kirkaldy, 1899
Familia Calopterygidae	<i>Charmatometra bakeri</i> Kirkaldy, 1898
<i>Hetaerina</i> Hagen, 1853	Familia Veliidae




---

Familia Aeshnidae	<i>Rhagovelia</i> Mayr, 1865
<i>Aeshna</i> Fabricius, 1775	
TRICHOPTERA	Familia Micronectidae
Familia Hydrobiosidae	<i>Tenagobia</i> Bergroth, 1899
<i>Atopsyche</i> Banks, 1905	Familia Naucoridae
Familia Hydropsychidae	<i>Limnocoris</i> Stål, 1860
<i>Leptonema</i> Guerin-Meneville, 1843	MEGALOPTERA
Familia Glossosomatidae	Familia Corydalidae
<i>Culoptila</i> Mosely, 1954	<i>Corydalis</i> Latreille, 1802
Familia Helicopsychidae	COLEOPTERA
<i>Helicopsyche</i> von Siebold, 1856	Familia Cantharidae
Familia Hydroptilidae	Género cf. <i>Rhagonycha</i> Eschscholtz, 1830
<i>Hydroptila</i> Dalman, 1819	Familia Elmidae
<i>Metrichia</i> Ross, 1938	<i>Hexanchorus</i> Sharp, 1882
Familia Leptoceridae	<i>Heterelmis</i> Sharp, 1882
<i>Nectopsyche</i> Mueller, 1879	<i>Macrelmis</i> Motschulsky, 1859
Familia Polycentropodidae	<i>Neoelmis</i> Musgrave, 1935
<i>Polycentropus</i> Curtis, 1835	<i>Xenelmis</i> Hinton, 1936
Familia Calamoceratidae	<i>Pseudodisersus</i> Brown, 1981
<i>Phylloicus</i> Mueller, 1880	Familia Ptilodactylidae
LEPIDOPTERA	<i>Anchytarsus</i> Guérin-Méneville, 1843
Familia Coleophoridae	Familia Staphylinidae Latreille, 1802
<i>Coleophora</i> Hübner, 1822	Familia Lutrochidae
Familia Crambidae	Género cf. <i>Lutrochus</i> Erichson, 1847
<i>Petrophila</i> Guilding, 1830	Familia Lampyridae Latreille, 1817
Familia Tortricidae	DECAPODA
<i>Amorbia</i> Clemens, 1860	Familia Palaemonidae
DIPTERA	<i>Macrobrachium</i> Spence Bate, 1868
Familia Blephariceridae	<i>Macrobrachium</i> cf. <i>reyesi</i> Pereira, 1986
<i>Limonicola</i> Lutz, 1928	Familia Pseudothelphusidae
Familia Ceratopogonidae	Género cf. <i>Neostrengeria</i> Pretzmann, 1965
<i>Bezzia</i> Kieffer, 1899	AMPHIPODA
<i>Probezzia</i> Kieffer, 1906	Familia Hyalellidae
<i>Atrichopogon</i> Kieffer, 1906	<i>Hyalella</i> Smith, 1874

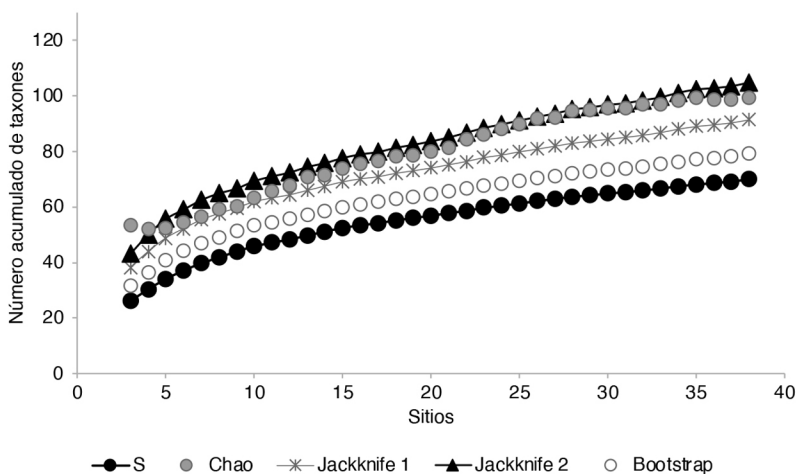
---

El estimador Jackknife2 indicó la riqueza más alta con 104.9 taxones y sin ninguna variación en los datos, mientras que Chao2 mostró una riqueza de 99.4 taxones, pero con una desviación estándar de  $\pm 17.2$ . Respecto a la riqueza reportada por sitio de muestreo, se evidenció que los sitios con mayor número de taxones fueron R08 y R09, ubicados dentro de las subcuencas Teatinos y Juyasia, con un orden limnológico 5 (Tabla 1). En segundo lugar, estuvieron los sitios R10, R20 y R21 dentro de las subcuencas Tibaná y Garagoa con un

orden limnológico 6. En contraste, los sitios con la menor riqueza fueron R39, R37 y R31 ubicados en la subcuenca Batá con un orden limnológico 7 (Tabla 1).

La Tabla 3 compara el número de taxones reportados con otras investigaciones realizadas en el río Garagoa. Gil (2014) evaluó 12 sitios de muestreo ubicados dentro de las subcuencas del río Tibaná y del río Garagoa de mayo a noviembre del año 2013, identificando 59 taxones de macroinvertebrados acuáticos, de los cuales, 24 no fueron encontrados en esta





**Fig. 2.** Curva de acumulación de la riqueza observada de taxones de macroinvertebrados acuáticos (S: 70) y los respectivos estimadores no paramétricos (Chao 2:  $99.4 \pm 17.2$  Jackknife1:  $91.4 \pm 7.3$  Jackknife2:  $104.9 \pm 0$  Bootstrap:  $79.2 \pm 3.8$ ). / **Fig. 2.** Accumulation curve of the observed richness of aquatic macroinvertebrate taxa (S: 70) and the respective non-parametric estimators (Chao 2:  $99.4 \pm 17.2$  Jackknife1:  $91.4 \pm 7.3$  Jackknife2:  $104.9 \pm 0$  Bootstrap:  $79.2 \pm 3.8$ ).

investigación. Se destaca el orden Trichoptera porque incluye ocho géneros diferentes (Tabla 3). Por otra parte, González-Tuta y Gil-Padilla (2020), evaluaron tres sitios pertenecientes a la cuenca del río Garagoa (subcuencas del río Juyasía y del río Tibaná), abarcando épocas de altas y bajas precipitaciones entre el año 2011 y 2012, encontraron 26 taxones, de los cuales seis no fueron hallados por Gil (2014), ni en el presente estudio. Se resalta el orden Ephemeroptera, pues incluye cuatro géneros diferentes (Tabla 3). Es importante señalar que las investigaciones de Gil (2014) y González-Tuta y Gil-Padilla (2020), concluyen que los órdenes Diptera, Trichoptera, Ephemeroptera y Coleoptera son los de mayor riqueza observada, a pesar de la diferencia en el número de sitios, municipios y periodos hidroclimáticos evaluados. Al reunir esta información se evidencia que existen alrededor de 99 géneros de macroinvertebrados acuáticos en la cuenca del río Garagoa. Cabe aclarar que no es posible aseverar si los taxones son realmente adiciones o se trata de incongruencias en la identificación, ya que no se informa si el material de las investigaciones anteriormente mencionadas se

encuentra depositado en una colección o museo para su verificación.

**Distribución altitudinal:** Respecto a la distribución de macroinvertebrados acuáticos a lo largo del gradiente altitudinal se observó que dentro de los grupos de sitios C (1732 - 2300 m.s.n.m.) y D (2300 - 2900 m.s.n.m.), el número de macroinvertebrados acuáticos fue mayor. Predominaron los moluscos (*Pisidium* y *Physa*), oligoquetos (*Lumbriculus*) y turbelarios (*Dugesia*), y se presentó un mayor número de géneros para el orden Diptera, encontrando taxones de la familia Ceratopogonidae como *Bezzia*, *Probezzia* y *Atrichopogon* y de la familia Chironomidae como *Apsectrotanypus*, *Onconeura*, *Paratanytarsus*, *Pentaneura*, *Paracladopelma* y *Corynoneura*. Además, géneros como *Hyaella* (Amphipoda), *Pseudodisersus* (Coleoptera), *Hydroptila* (Trichoptera), *Eristalis* (Diptera), cf. *Neostrengeria* (Decapoda) y *Coleophora* (Lepidoptera) estuvieron presentes únicamente en estos gradientes altitudinales.

Para zonas intermedias, en el grupo de sitios B (1100 - 1732 m.s.n.m.) el número de macroinvertebrados disminuyó. Al igual

**Tabla 3**

Comparación de riqueza de macroinvertebrados acuáticos con estudios previos realizados en el río Garagoa. / **Table 3.** Comparison of richness of aquatic macroinvertebrates with previous studies carried out in the Garagoa River.

Orden	Riqueza Gil, 2014 (Sitios = 12)	Taxones Complementarios 2014	Riqueza González-Tuta y Gil-Padilla, 2020 (Sitios = 3)	Taxones Complementarios 2020	Riqueza Presente Estudio, 2022. (Sitios = 40)
Tricladida	1		0		1
Eunicida	1		0		0
Lumbriculida	0		0		1
Tubificida	2	N.id*	1	<i>Tubifex</i>	1
Sphaeriida	1		0		1
Basommatophora	2		0		3
Ephemeroptera	7	<i>Mayobaetis</i> <i>Zelus</i> <i>Thraulodes</i>	8	<i>Moribaetis</i> <i>Cloeodes</i> <i>Guajirolus</i> <i>Tricorythodes</i>	6
Plecoptera	1		1		1
Odonata	0		0		2
Trichoptera	13	<i>Protoptila</i> , <i>Smicridea</i> , <i>Neotrichia</i> <i>Alisotrichia</i> <i>Ochrotrichia</i> <i>Oxyethira</i> <i>Grumichella</i> <i>Oecetis</i>	4		9
Lepidoptera	1		0		3
Diptera	13	<i>Chelifera</i> <i>Odontomyia</i> <i>Mansonia</i> <i>Limnophora</i>	6		22
Hemiptera	5	<i>Mesovelis</i> <i>Cryphocricos</i> <i>Pelocoris</i>	1		5
Megaloptera	1		1		1
Coleoptera	10	<i>Hexacylloepus</i> <i>Microcyloepus</i> <i>Cylloepus</i> <i>Dineutus</i> <i>Gyretes</i>	2		11
Decapoda	0		0		2
Amphipoda	1		2	<i>Gammarus</i>	1
Total	59		26		70

\*N.id: No identificado. / \*N.id: Unidentified.

que en los grupos C y D, los órdenes Trichoptera, Diptera, Ephemeroptera y Coleoptera presentaron el mayor número de taxones. Se presentaron géneros únicos como *Belostoma* y *Charmatometra bakery* (Hemiptera),

*Hexanchorus*, *Xenelmis* y cf. *Lutrochus* (Coleoptera), *Tabanus* (Diptera), *Petrophila* (Lepidoptera), *Hetaerina* (Odonata) y *Phylloliscus* (Trichoptera). Taxones como *Corydallus* (Megaloptera), *Rhagovelia* (Hemiptera),

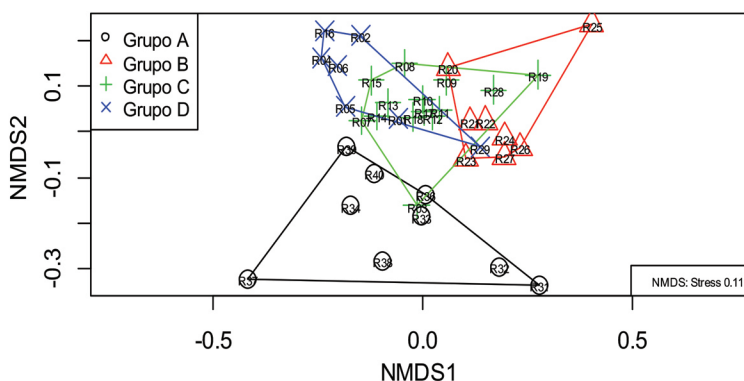
*Cricotopus* (Diptera), *Limonicola* (Diptera) y *Metrichia* (Trichoptera) solo se hallaron dentro de los grupos B, C y D.

Para el grupo de sitios A (500 - 1100 m.s.n.m.) se registró el número más bajo de macroinvertebrados acuáticos. Se destacaron los órdenes Ephemeroptera con géneros como *Baetodes*, *Leptohyphes* y *Farrodex*; Trichoptera con el género *Leptonema*; Diptera con *Parachironomus*, *Cardiocladius* y *Limonia*, y el orden Coleoptera con la presencia de *Heterelmis* y *Neoelmis*. Para esta zona en específico se recolectaron los taxones *Macrobrachium* cf. *reyesi* (Decapoda) y *Macrelmis* (Coleoptera).

Los géneros con mayor ocurrencia a lo largo del gradiente altitudinal evaluado en el río Garagoa (500 a 2887 m.s.n.m.) fueron *Simulium*, *Parachironomus* y *Cardiocladius* pertenecientes al orden Díptera, y dentro del orden Trichoptera se destacó el género *Leptonema* (Tabla 4). Estos taxones ocurren en más de 20 sitios y están incluidos principalmente dentro de los grupos C y D con gradientes altitudinales entre 1732 a 2900 m.s.n.m., y en menor proporción dentro de los grupos B y A (500 a 1732 m.s.n.m.). Para el orden Coleoptera se destacó *Heterelmis* en 19 sitios y *Neoelmis* en 15 sitios; incluidos en gran medida dentro de los grupos B y C (1100 a 2300 m.s.n.m.), y en menor proporción en los grupos A y D (Tabla 4). Respecto al orden Ephemeroptera, el género

*Baetodes* se reportó en 18 sitios ubicados principalmente dentro del grupo de sitios B y C (1100 a 2300 m.s.n.m.).

El análisis NMDS muestra las cuatro agrupaciones relacionadas con el gradiente altitudinal a nivel de género para la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la cuenca del río Garagoa (Fig. 3). Se evidencia una mayor agrupación para los sitios de los grupos C y D, ubicados en zonas de mayor altitud. Los sitios de zonas intermedias representados por el grupo B se asociaron con sitios del grupo C. Por último, se destaca el grupo A (sitios con menor altitud) por presentar una mayor dispersión respecto a los demás grupos. Las estadísticas de correlación indicaron el ajuste entre las distancias de ordenación y las diferencias observadas ( $R^2 = 0.989$ ) y un nivel de estrés de 0.11 para una adecuada interpretación del NMDS. La prueba PERMANOVA indicó diferencias respecto a la composición de la comunidad para los diferentes grupos altitudinales evaluados ( $R^2 = 0.306$ ;  $P = 0.001$ ). Sin embargo, la prueba Pairwise confirma la similitud entre los grupos C y D ( $P = 0.06$ ). En contraste, para las demás combinaciones de grupos existen diferencias significativas, pues los valores de significancia de la prueba Pairwise oscilaron entre 0.006 y 0.012. Según los resultados del análisis SIMPER los géneros que contribuyeron en mayor medida a la disimilitud fueron *Neoelmis* (71 %)



**Fig. 3.** Ordenación (NMDS) de los sitios de acuerdo con la composición de macroinvertebrados acuáticos a nivel de género. Distancia: Sorensen (Bray-Curtis binario). Estrés de la ordenación: 0.11. Ajuste no métrico,  $R^2 = 0.989$ . / **Fig. 3.** Ordination (NMDS) of the sites according to the composition of aquatic macroinvertebrates at the genus level. Distance: Sorensen (Bray-Curtis binary). Stress: 0.11. Non-metric fit,  $R^2 = 0.989$ .

**Tabla 4**

Macroinvertebrados acuáticos con mayor ocurrencia a lo largo del gradiente altitudinal evaluado (500 a 2887 m.s.n.m.) en el río Garagoa. / **Table 4.** Aquatic macroinvertebrates with highest occurrence along the evaluated altitudinal gradient (500 to 2887 m.a.s.l.) in the Garagoa River.

	<i>Baetodes</i>	<i>Leptonema</i>	<i>Cardiocladius</i>	<i>Parachironomus</i>	<i>Simulium</i>	<i>Heterelmis</i>	<i>Neoelmis</i>
R01	+	+	+	+	+	+	+
R02			+	+	+		
R03	+		+	+			
R04			+	+	+		
R05		+	+	+	+		
R06			+	+	+		
R07		+	+	+	+	+	+
R08	+	+	+	+	+	+	
R09	+	+	+	+	+	+	+
R10	+	+	+	+	+	+	+
R11	+		+	+	+	+	
R12	+	+	+	+	+	+	+
R13		+	+	+	+	+	+
R14		+	+	+	+	+	+
R15			+		+		+
R16			+	+			
R17		+	+		+	+	+
R18		+	+	+	+		+
R19					+		
R20		+		+	+	+	+
R21	+	+	+	+	+	+	+
R22	+	+			+	+	
R23	+	+			+	+	
R24	+	+			+	+	
R25							
R26	+	+			+		
R27	+	+				+	
R28	+		+		+		
R29	+	+	+		+	+	+
R30							
R31							
R32	+	+					
R33		+	+	+			
R34		+		+	+		
R35							
R36	+	+		+		+	+
R37							
R38		+	+				
R39				+		+	
R40	+		+	+	+		+

(+): Presencia, ( ): Ausencia. / (+): Present, ( ): Absent.

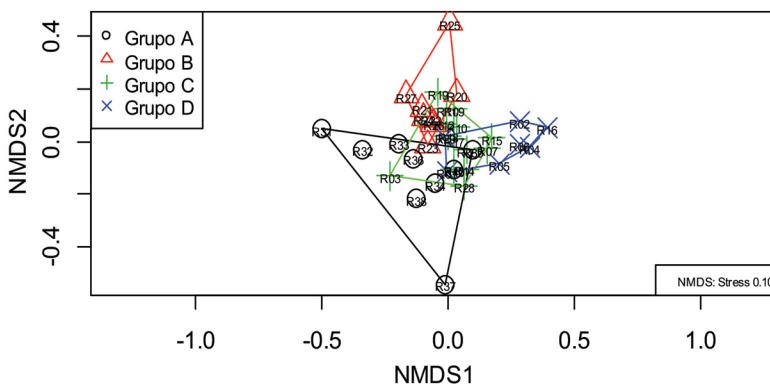
y *Anacroneuria* (69 %) para los grupos B y D, *Apsectrotanypus* (70 %) y *Farrodes* (68 %) para los grupos D y A, *Pisidium* (70 %) y *Simulium* (68 %) para los grupos C y B, *Anacroneuria* (71 %) y *Corydalus* (69 %) para los grupos C y A, *Cardiocladius* (72 %) y *Anacroneuria* (70 %) para los grupos B y A.

A nivel de familia, el análisis NMDS evidencia una mayor agrupación entre los grupos altitudinales evaluados (Fig. 4). Se evidencia que los sitios con menor altitud (grupo A) presentaron un comportamiento similar al observado en el NMDS a nivel de género, pues fue el grupo más disperso respecto a los demás. Por otra parte, los grupos B y C con un gradiente altitudinal entre 1 100 a 2 300 m.s.n.m. presentaron una mayor agrupación, y los sitios del grupo D (2 300 a 2 900 m.s.n.m.) se agruparon en mayor medida con los sitios del grupo C (1 732 a 2 300 m.s.n.m.). Para este análisis las estadísticas de correlación indicaron el ajuste entre las distancias de ordenación y las diferencias observadas ( $R^2 = 0.99$ ) y un nivel de estrés de 0.10 para una adecuada interpretación del NMDS. La prueba PERMANOVA en este nivel taxonómico también evidencian las diferencias entre los grupos altitudinales evaluados respecto a la composición de la comunidad ( $R^2 = 0.312$ ;  $P = 0.001$ ). La prueba Pairwise a nivel de familia indica que existen diferencias significativas entre todos los grupos de sitios

( $P < 0.05$ ). Se destaca el grupo A por presentar los valores de significancia más bajos de la prueba Pairwise y diferir en mayor medida respecto a los demás grupos ( $P = 0.006$ ). Los resultados del análisis SIMPER mostraron que las familias que contribuyeron en mayor medida a la disimilitud fueron Limoniidae (72 %) y Psychodidae (70 %) para los grupos D y C, Chironomidae (70 %) y Simuliidae (68 %) para los grupos D y B, Corydalidae (72 %) y Chironomidae (69 %) para los grupos D y A, Chironomidae (72 %) y Leptoceridae (69 %) para los grupos C y B, Veliidae (72 %) y Sphaeriidae (69 %) para los grupos C y A, Perlidae (73 %) y Helicopsychidae (70 %) para los grupos B y A.

**Macroinvertebrados representativos del hábitat:**

Este análisis evidenció una preferencia ecológica de algunos géneros por ciertos grupos de sitios ( $\phi$ -IndVal =  $P < 0.05$ ; Tabla 5, Fig. 5). El grupo A (500 - 1 100 m.s.n.m.) no presentó ningún taxón significativo y muestra que no existe una exclusividad y ocurrencia marcada de macroinvertebrados acuáticos para este gradiente altitudinal. Para el grupo B (1 100 - 1 700 m.s.n.m.), *Leptohyphes* y *Belostoma* fueron los géneros representativos. El grupo C (1 700 - 2 300 m.s.n.m.) presentó tres géneros: *Culoptila*, *Lumbriculus* y *Physa*. El grupo D (2 300 - 2 900 m.s.n.m) mostró tres géneros significativos: *Gundlachia*, *Dugesia* y *Pentaneura*.



**Fig. 4.** Ordenación (NMDS) de los sitios de acuerdo con la composición de macroinvertebrados acuáticos a nivel de familia. Distancia: Sorensen (Bray-Curtis binario). Estrés de la ordenación: 0.10. Ajuste no métrico,  $R^2 = 0.99$ . / **Fig. 4.** Ordination (NMDS) of the sites according to the composition of aquatic macroinvertebrates at the family level. Distance: Sorensen (Bray-Curtis binary). Stress: 0.10. Non-metric fit,  $R^2 = 0.99$ .

Algunos géneros presentaron una preferencia ecológica por más de un grupo de sitios. En particular, el género *Leptonema* tuvo preferencia por los grupos B y C, *Cardiocladius* y *Cricotopus* por los grupos C y D (Tabla 5, Fig. 5).

**Tabla 5**

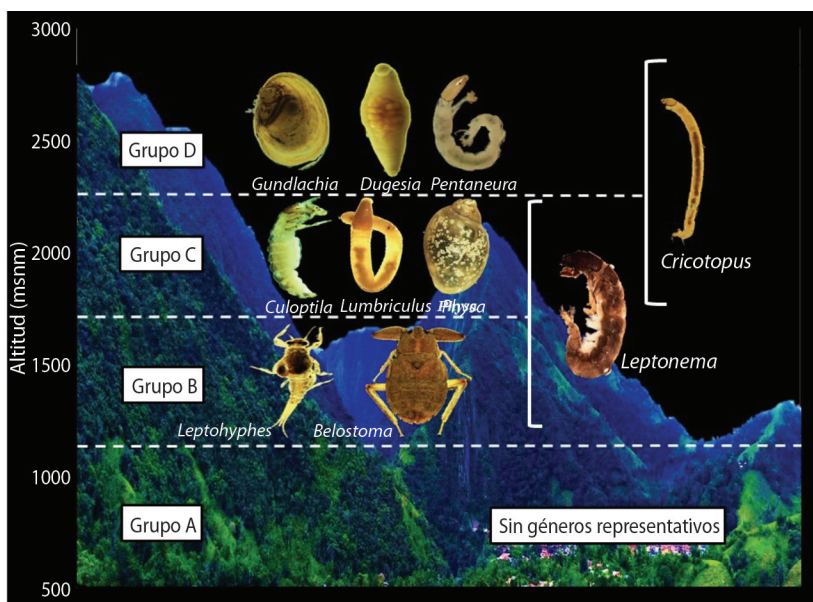
Asociación entre macroinvertebrados acuáticos y grupos de sitios del río Garagoa. / **Table 5.** Association between aquatic macroinvertebrates and groups of sites in the Garagoa River.

Grupos de sitios	Género	phi-IndVal	P valor
Grupo B	<i>Leptohyphes</i>	0.633	0.004
	<i>Belostoma</i>	0.549	0.002
Grupo C	<i>Culoptila</i>	0.518	0.013
	<i>Lumbriculus</i>	0.470	0.017
	<i>Physa</i>	0.401	0.028
Grupo D	<i>Gundlachia</i>	0.470	0.023
	<i>Dugesia</i>	0.464	0.021
	<i>Pentaneura</i>	0.432	0.035
Grupo B + C	<i>Leptonema</i>	0.545	0.002
Grupo C + D	<i>Cardiocladius</i>	0.590	0.002
	<i>Cricotopus</i>	0.561	0.004

Método de correlación biserial del valor del indicador (phi-IndVal) a un nivel de significancia  $P < 0.05$ . / Biserial correlation method of the indicator value (phi-IndVal) at a significance level  $P < 0.05$ .

## DISCUSIÓN

Esta investigación reportó 70 taxones de macroinvertebrados acuáticos, donde el orden Diptera, específicamente la familia Chironomidae presentó el mayor número de géneros y una amplia distribución en la cuenca del río Garagoa. Los estimadores de biodiversidad sugieren que el número de taxones podría estar entre 79.2 (Bootstrap) y 104.9 (Jackknife2), de modo que aún no se ha capturado toda la riqueza de la cuenca, pues se han realizado pocos estudios en la misma y en su mayoría no abarcan la heterogeneidad temporal. Además, se destacan las zonas con mayor altitud por presentar el mayor número de macroinvertebrados acuáticos. Para la zona Neotropical y específicamente en Colombia, los macroinvertebrados acuáticos de órdenes como Coleoptera, Diptera, Trichoptera y Ephemeroptera con algunas de sus respectivas familias y que fueron representativos en esta investigación, son considerados grupos megadiversos y con una amplia distribución (Díaz-Rojas et al., 2020; Roldán-Pérez, 2016; Vásquez-Ramos & Reinoso-Flórez, 2012; Walteros-Rodríguez & Castaño-Rojas, 2020). Por ejemplo, dentro



**Fig. 5.** Macroinvertebrados acuáticos representativos del río Garagoa, Boyacá, Colombia. / **Fig. 5.** Representative aquatic macroinvertebrates of the Garagoa River, Boyacá, Colombia.

del orden Coleoptera, específicamente para la familia Elmidae, los géneros *Heterelmis* y *Neolemis* exhibieron el mayor rango de altura muestreada coincidiendo con lo informado por González-Córdoba et al., (2020a), estos taxones presentan hábitos generalistas y se adaptan a una gran variedad de hábitats, lo que les permite tener una amplia distribución principalmente en la región Andina y en el piedemonte de la cordillera oriental (González-Córdoba et al., 2020b). Por otra parte, *Xenelmis* y *Pseudodisersus* aunque han sido encontrados en la región Andina y en la vertiente del Orinoco, no presentaron registros para el departamento de Boyacá, según lo reportado por González-Córdoba et al., (2020a). Sin embargo, Motta-Díaz y Vimos-Lojano (2020) y Gil (2014), sí registraron estos taxones, lo que implica una mayor distribución de estos géneros en el departamento de Boyacá.

La amplia distribución del género *Leptonema* (Trichoptera) se atribuye a su tolerancia a los cambios de las condiciones ambientales (López-Delgado et al., 2015; Vásquez-Ramos et al., 2010) y a la capacidad de volar en sus etapas adultas lo que les confiere una elevada capacidad de dispersión (Davis et al., 1991). Además, pertenece a la familia Hydropsychidae, la cual alberga cerca de 500 especies en el Neotrópico (Holzenthall & Calor, 2017). En los Andes colombianos se tiene el mayor registro de taxones del orden Trichoptera, a pesar que en las regiones con alturas elevadas la riqueza y abundancia tienden a disminuir (López-Delgado et al., 2015), lo cual concuerda con nuestros resultados, pues con alturas mayores a 2 800 m.s.n.m. solo se registró el género *Hydroptila*; el cual presenta preferencia por la hojarasca que predomina a mayor altitud debido a la incidencia de la vegetación ribereña y la menor amplitud del cauce (Vásquez-Ramos et al., 2014).

Para la familia Chironomidae se reportaron nueve géneros en total, un número relativamente bajo respecto a lo informado por otros estudios en ríos andinos de la macrocuenca hidrográfica del río Magdalena en los Andes centrales. Por ejemplo, Oviedo-Machado y

Reinoso-Flórez (2018) registraron 16 géneros en 19 estaciones de muestreo dentro de un gradiente altitudinal de 230 a 936 m.s.n.m. en el departamento del Tolima, Colombia. La investigación de Rojas-Sandino et al., (2018), reportó 15 géneros en nueve estaciones, que abarcaron un gradiente altitudinal de 351 a 1 057 m.s.n.m. (Tolima, Colombia). Por otra parte, Acosta y Prat (2010) registraron 38 géneros para 35 estaciones evaluadas en el río Cañete (Lima, Perú), situadas en altitudes comprendidas entre 2 500 a 4 400 m.s.n.m. Esta comparación evidencia la presencia de la familia Chironomidae en alturas mayores y menores respecto al gradiente altitudinal evaluado en esta investigación, destacando la amplia distribución de esta familia en ecosistemas lóticos de los Andes.

Los géneros *Apsectrotanypus*, *Pentaneura*, *Corynoneura*, *Cardiocladius* y *Cricotopus*, se registraron en alturas superiores a 3 500 m.s.n.m. en Acosta y Prat (2010), por lo tanto, cabe la posibilidad de encontrarlos en zonas de mayor altitud del río Garagoa que no fueron evaluadas, debido a dificultades de acceso en el área de estudio. Respecto a los géneros reportados por Oviedo-Machado y Reinoso-Flórez (2018) y Rojas-Sandino et al., (2018) en zonas de bajas altitudes (230 a 1 057 m.s.n.m.), *Pentaneura*, *Onconeura*, *Corynoneura*, *Cardiocladius*, *Paratanytarsus* y *Cricotopus* presentaron una amplia distribución. Los géneros *Paracladopelma* y *Paratanytarsus* fueron los únicos que no se reportaron en las áreas geográficas de las investigaciones anteriormente mencionadas y que estuvieron presentes en el río Garagoa.

Respecto a la taxonomía y distribución de la familia Chironomidae (Diptera) en los Andes orientales colombianos existe poca información. Mendes y Pinho (2016) recopilan los registros disponibles para Colombia, mientras que Ospina et al., (1999), Ruíz-Moreno et al., (2000a) y Ruíz-Moreno et al., (2000b) presentan las características taxonómicas de los géneros en aguas corrientes de la sabana de Bogotá y sus montañas circundantes. En afluentes del río Meta (departamento de Cundinamarca), González-Trujillo et al., (2019) reportan 28



géneros para la familia Chironomidae, al respecto, el presente trabajo aporta cuatro nuevos registros (*Parachironomus*, *Apsectrotanypus*, *Paratanytarsus* y *Paracladopelma*) para esta cuenca, pero en jurisdicción del departamento de Boyacá.

Factores como la alta heterogeneidad ambiental y la variabilidad en la hidrología pueden promover una mayor biodiversidad en los ecosistemas lóticos (Heino, 2005; Heino et al., 2015a). El número de especies poco frecuentes a lo largo del río Garagoa fue considerable, en zonas con mayor altura y donde la riqueza general de macroinvertebrados acuáticos fue mayor, se presentaron 14 taxones, las zonas intermedias con cinco taxones y tan solo un taxón en zonas bajas. Este patrón se puede relacionar con procesos de intervención antrópica como expansión urbana, agricultura, deforestación, construcción de represas y minería de extracción de material de arrastre que inciden sobre el río Garagoa (Corpochivor, 2018; Lasso et al., 2016) y pueden afectar la calidad y disponibilidad de material alóctono (madera, hojas y sustratos) que pueden proporcionar refugio a la biodiversidad acuática aguas abajo (Agra et al., 2018; Gooderham et al., 2007).

Dentro de los taxones poco frecuentes se destacan los crustáceos decápodos *Macrobrachium* cf. *reyesi* y cf. *Neostrengeria*. El primero, se ha registrado en afluentes del río Orinoco en diferentes departamentos del país, como los ríos Cusiana y Aguazul (Casana-re), en la quebrada Arenosa (Cundinamarca), en el río Duda y en el río Guayuriba (Meta) (Campos, 2014; Valencia & Campos, 2007; Vásquez & Bocanegra, 2019), en este estudio se registró para el municipio de Santa María (Boyacá). Por otra parte, cf. *Neostrengeria* es un género endémico de Colombia con distribución en las dos vertientes y la planicie de la cordillera Oriental (Campos, 2014; Campos & Lasso, 2015), fue registrado para este estudio a una altura de 2 773 m.s.n.m. en el municipio de Boyacá (Boyacá) y se resalta que varias de las especies de este género se encuentran en peligro de extinción, principalmente por la deforestación para agricultura, el ingreso

por escorrentía de fertilizantes e insecticidas a los cuerpos de agua, el desarrollo urbano, la fragmentación del hábitat por represas y regulación de regímenes de caudales, la contaminación minera y la introducción de especies invasoras (Campos & Lasso, 2015; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017). La presencia del cangrejo rojo invasor *Procambarus clarkii* en el departamento de Boyacá (Camacho-Portocarrero et al., 2021) y en la cuenca del río Garagoa (González-Ruiz et al., 2019), puede afectar a especies nativas del género *Neostrengeria*, principalmente por competencia, transmisión de parásitos y enfermedades (Campos & Lasso, 2015).

El análisis de macroinvertebrados representativos del hábitat evidenció la presencia de algunos taxones con diferencias notables entre zonas; estas distinciones podrían estar asociadas con cambios en las variables locales (condiciones físicas y químicas, composición de mesohábitats y vegetación de ribera) y de paisaje (uso del suelo y geomorfología) (Díaz-Rojas et al., inédito; Jacobsen, 2008; Peters et al., 2016). En zonas de mayor altitud (Grupo D) géneros como *Gundlachia* y *Dugesia* presentaron una mayor exclusividad y presencia; estos organismos aun cuando no exhiben rasgos característicos de adherencia al sustrato, poseen tamaños pequeños que les permite ubicarse en intersticios del sustrato lo cual favorece su prevalencia en sitios con velocidades de flujo moderadas (Tomanova & Usseglio-Polatera, 2007). Adicionalmente, en esta zona, los dípteros *Cardiocladius*, *Pentaneura* y *Cricotopus* manifestaron preferencias en sitios de elevada altitud, donde generalmente la temperatura y el oxígeno disponible tienden a disminuir; estos resultados concuerdan con trabajos previos, que relacionan la distribución de familias del orden Diptera con las características ambientales y la disponibilidad de recursos alimenticios (Acosta & Prat, 2010; Villamarín et al., 2021).

En las zonas altitudinales intermedias (Grupo C) se destacó la especificidad del género *Culoptila* que presenta una limitada distribución, ya que está restringido principalmente a sustratos rocosos y zonas de salpicadura que le



brindan disponibilidad de perifiton como fuente de alimento (Wiggins, 1996), este hallazgo concuerda con otros estudios en arroyos andinos que abarcaron gradientes altitudinales similares (1 670 a 2 586 m.s.n.m.) (Duarte-Ramos & Reinoso-Flórez, 2020; Romero et al., 2006). En contraste, *Belostoma* y *Leptohyphes* fueron taxones exclusivos que se distinguen en zonas relativamente bajas (Grupo B), sin embargo, estos géneros se han reportado en un gradiente altitudinal más amplio. *Leptohyphes* se ha asociado con altitudes entre 340 a 3 275 m.s.n.m. y diferentes tipos de sustratos como arena, grava/guijarro, hojarasca y roca (Crespo-Pérez et al., 2016; Gutiérrez y Reinoso-Flórez, 2010; Vásquez-Ramos & Reinoso-Flórez, 2012), además, *Belostoma* se ha registrado en todas las regiones naturales de Colombia en gradientes altitudinales que van desde los 0 a 2 800 m.s.n.m. (Romero & Noriega, 2013). Por lo tanto, es posible que estos taxones presenten una distribución más amplia en el río Garagoa.

En cuanto a la suficiencia taxonómica se evidencia que la identificación a un nivel más amplio (familia) proporciona resultados similares a los obtenidos a nivel de género para los análisis multivariados PERMANOVA y NMDS. Investigaciones como las de Waite et al., (2004) y Feio et al., (2006), concluyen que los resultados a nivel de familia, con pocas excepciones, resultó ser similar con un nivel taxonómico más bajo. Sin embargo, los resultados obtenidos en las pruebas Pairwise y SIMPER a nivel de género mostraron diferencias sutiles respecto a lo reportado a nivel de familia para esta investigación, además la identificación taxonómica a un nivel más bajo en familias diversas como Chironomidae proporcionan información para profundizar sobre la historia natural, la ecología de los arroyos, la biodiversidad y las especies indicadoras (Jones, 2008; Waite et al., 2004). Por lo tanto, obtener información taxonómica más detallada puede evitar realizar generalizaciones e interpretaciones erradas sobre las relaciones comunidad-ambiente en estudios de ecología comunitaria, biología de la conservación y evaluación ambiental (Heino, 2014; Roldán-Pérez, 2016).

Investigaciones como las de Heino et al., (2015a) y Agra et al., (2018), concuerdan con nuestros resultados, pues señalan una relación inversa entre la latitud, altitud y el cauce de los arroyos (orden limnológico) con el número de taxones acuáticos, lo cual difiere con los patrones esperados de biodiversidad (Heino et al., 2015b; Gaston, 2000; Stevens, 1989). Vásquez-Ramos y Reinoso-Flórez (2012) señalan que encontrar una mayor riqueza de especies en tramos de zonas altas y medias en ecosistemas lóticos se puede atribuir a la variación en los factores abióticos (temperatura, pendiente, geología y tipos de coberturas del suelo) y actividades antrópicas que influyen en la colonización de macroinvertebrados acuáticos en zonas bajas de los Andes colombianos. Es importante tener en cuenta que en la cuenca del río Garagoa los procesos de expansión urbana, agricultura, deforestación, introducción de especies invasoras, construcción de represas y minería de extracción de material de arrastre (Corpochivor, 2018) pueden transformar las interacciones de las comunidades acuáticas y generar importantes consecuencias como extinción local y desplazamiento de especies, además de la pérdida de funciones y servicios ecosistémicos (Brooks et al., 2005; Ríos-Touma & Ramírez, 2019; Vimos-Lojano et al., 2019). En la actualidad, Díaz-Rojas et al., (inédito) estudian la relación del hábitat y la diversidad de macroinvertebrados acuáticos del río Garagoa utilizando predictores de la diversidad en escala espacial local y de paisaje, este tipo de investigaciones permitirán profundizar y explicar mejor los patrones de organización y distribución de esta comunidad (Agra et al., 2018; Heino et al., 2015b).

Nuestros resultados resaltan la importancia de comprender los patrones de distribución de comunidades poco previsibles como los macroinvertebrados acuáticos en ecosistemas acuáticos estratégicos, dinámicos y que sufren constantes transformaciones (Heino et al., 2015a). Considerando que los trabajos sobre biodiversidad de macroinvertebrados en la cuenca del río Garagoa y cuencas aledañas son escasos, se deben realizar más investigaciones



que incluyan gradientes de altitud más extensos, períodos hidroclimáticos contrastantes y una cobertura espacial amplia. Por último, consideramos que el listado taxonómico de macroinvertebrados es una herramienta sencilla pero valiosa que ofrece numerosos beneficios para estudios ecológicos, de gestión y conservación de recursos naturales en la región.

**Declaración de ética:** los autores declaran que todos están de acuerdo con esta publicación y que han hecho aportes que justifican su autoría; que no hay conflicto de interés de ningún tipo; y que han cumplido con todos los requisitos y procedimientos éticos y legales pertinentes. Todas las fuentes de financiamiento se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

**Contribución de autores:** Roa-Fuentes conceptualizó y obtuvo los fondos para la investigación; Barrera-Herrera y Díaz-Rojas realizaron la recolecta e identificación taxonómica de especímenes; Prat realizó identificación y confirmación taxonómica de especímenes. Todos los autores participaron de forma equitativa en la validación de datos, análisis formal, edición y escritura del manuscrito.

#### AGRADECIMIENTOS

Este estudio se desarrolló en el marco de los proyectos de investigación “*Importancia de las variables locales y de paisaje sobre las comunidades de peces y macroinvertebrados bentónicos de sistemas lóticos andinos*” (SGI 2955) financiado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia con recursos provenientes del Fondo Francisco José de Caldas – FFJC, Convenio Especial de Cooperación 404-2019 para el programa de investigación correspondiente al CDR derivado número 15464-2020 del 19 de marzo de 2020 y Convenio Especial de Cooperación 386-2019 para jóvenes investigadores e innovadores, correspondiente al CDR derivado número

15499-2020 del 25 de marzo de 2020 y por la Vicerrectoría de Investigación y Extensión de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia; y “*Macroinvertebrados bentónicos del río Garagoa, macrocuenca hidrográfica del Orinoco, Colombia*” (SGI 3035), financiado por la Dirección de Investigaciones de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia a través de la convocatoria interna DIN 21-2020. Agradecemos a Nelson Aranguren y Adriana Pedroza por los comentarios y sugerencias a las primeras versiones del manuscrito, también a Adriana Pedroza, Andrés Galán, Cristian Vargas, Daniela Becerra y Felipe Moreno por su apoyo en campo.

#### REFERENCIAS

- Acosta, R., & Prat, N. (2010). Chironomid assemblages in high altitude streams of the Andean region of Peru. *Fundamental and Applied Limnology*, 177(1), 57. <https://doi.org/10.1127/1863-9135/2010/0177-0057>
- Agra, J. U. M., Ligeiro, R., Macedo, D. R., Hughes, R. M., & Callisto, M. (2018). Ecoregions and stream types help us understand ecological variability in Neotropical reference streams. *Marine and Freshwater Research*, 70(4), 594–602. <http://dx.doi.org/10.1071/MF18309>
- Barletta, M., Jaureguizar, A. J., Baigun, C., Fontoura, N. F., Agostinho, A. A., Almeida Val, V. D., & Corrêa, M. F. M. (2010). Fish and aquatic habitat conservation in South America: a continental overview with emphasis on neotropical systems. *Journal of Fish Biology*, 76(9), 2118–2176. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02684.x>
- Barrera-Herrera, J. A., Díaz-Rojas, C. A., & Roa-Fuentes, C. A., (2022). *Macroinvertebrados bentónicos de la cuenca hidrográfica del río Garagoa, macrocuenca del río Orinoco, Boyacá, Colombia*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. <https://doi.org/10.15472/lalnra>
- Brooks, A. J., Haeusler, T. I. M., Reinfelds, I., & Williams, S. (2005). Hydraulic microhabitats and the distribution of macroinvertebrate assemblages in riffles. *Freshwater Biology*, 50(2), 331–344. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2004.01322.x>
- Camacho-Portocarrero, R. F., Duarte-Gándica, I., & Altamiranda-Saavedra, M. (2021). Areas at risk of invasion by *Procambarus clarkii* (Decapoda: Cambaridae) a crayfish introduced in Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 69(1), 77–89. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v69i1.41493>

- Campos, M. R. (2014). *Crustáceos decápodos de agua dulce de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias Naturales.
- Campos, M. R., & Lasso, C. A. (2015). *Libro rojo de los cangrejos dulceacuícolas de Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia.
- Carignan, V., & Villard, M. A. (2002). Selecting indicator species to monitor ecological integrity: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 78(1), 45–61. <https://doi.org/10.1023/A:1016136723584>
- Corpochivor. (2018). *Actualización plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Garagoa*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia.
- Crespo-Pérez, V., Andino, P., Espinosa, R., Dangles, O., & Jacobsen, D. (2016). The altitudinal limit of Leptohyphes Eaton, 1882 and Lachlania Hagen, 1868 (Ephemeroptera: Leptohyphidae, Oligoneuriidae) in Ecuadorian andes streams: searching for mechanisms. *Aquatic Insects*, 37(1), 69–86. <https://doi.org/10.1080/01650424.2015.1109128>
- Damborenea, C., Rogers, D. C., & Thorp, J. H. (2020). *Thorp and covich's freshwater invertebrate: Keys to Neotropical and Antarctic Fauna*. Academic Press.
- Davis, B. M., Hudson, P. L., & Armitage, B. J. (1991). Distribution and abundance of caddisflies (Trichoptera) in the St. Clair-Detroit river system. *Journal of Great Lakes Research*, 17(4), 522–535. [https://doi.org/10.1016/S0380-1330\(91\)71388-9](https://doi.org/10.1016/S0380-1330(91)71388-9)
- De Cáceres, M. (2020). *How to use the indicpecies package* (Version 1.7.8., R Package). <https://CRAN.R-project.org/package=indicpecies>
- De Cáceres, M., Jansen, F., & Dell, N. (2016). *Package 'indicpecies': Relationship between Species and Groups of sites* (Version 1.7.6., R Package). <https://CRAN.R-project.org/package=indicpecies>
- De Cáceres, M. D., & Legendre, P. (2009). Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. *Ecology*, 90(12), 3566–3574. <https://doi.org/10.1890/08-1823.1>
- De Cáceres, M. D., Legendre, P., Wiser, S. K., & Brotons, L. (2012). Using species combinations in indicator value analyses. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(6), 973–982. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2012.00246.x>
- Díaz-Rojas, C. A., Pedroza-Ramos, A., Barrera-Herrera, J. A., & Roa-Fuentes, C. A. (in preparation). Local more than landscape environmental factors structure benthic macroinvertebrates diversity in Andean rivers from Orinoco River Basin, Colombia. *Pedagogical and Technological University of Colombia*.
- Díaz-Rojas, C. A., Motta-Díaz, Á. J., & Aranguren-Riaño, N. (2020). Estudio de la diversidad taxonómica y funcional de los macroinvertebrados en un río de montaña Andino. *Revista de Biología Tropical*, 68, 132–149. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v68is2.44345>
- Domínguez, E. (2006). *Ephemeroptera of South America*. Pensoft Publishers.
- Domínguez, E., & Fernández, H. R. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y Biología*. Fundación Miguel Lillo, Argentina.
- Duarte-Ramos, E. J., & Reinoso-Flórez, G. (2020). Composición y estructura del ensamblaje de larvas del orden Trichoptera (Arthropoda: Insecta) en la quebrada Las Perlas, Ibagué, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 44(171), 471–481. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.964>
- Ellis, D. (1985). Taxonomic sufficiency in pollution assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 16(12), 459.
- Encalada, A. C., Flecker, A. S., Poff, N. L., Suárez, E., Herrera-R, G. A., Ríos-Touma, B., Jumani, S., Larson, E. I., & Anderson, E. P. (2019). A global perspective on tropical montane rivers. *Science*, 365(6458), 1124–1129. <https://doi/abs/10.1126/science.aax1682>
- Feio, M. J., Reynoldson, T. B., & Graça, M. A. (2006). The influence of taxonomic level on the performance of a predictive model for water quality assessment. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 63(2), 367–376. <https://doi.org/10.1139/f05-221>
- Fierro, P., Valdovinos, C., Arismendi, I., Díaz, G., Jara-Flores, A., Habit, E., & Vargas-Chacoff, L. (2019). Examining the influence of human stressors on benthic algae, macroinvertebrate, and fish assemblages in Mediterranean streams of Chile. *Science of the Total Environment*, 686, 26–37. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.277>
- Frissell, C. A., Liss, W. J., Warren, C. E., & Hurley, M. D. (1986). A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context. *Environmental Management*, 10(2), 199–214. <https://doi.org/10.1007/BF01867358>
- Gaston, K. J. (2000). Global patterns in biodiversity. *Nature*, 405(6783), 220–227. <https://doi.org/10.1038/35012228>
- Gil, J. A. (2014). *Determinación de la calidad del agua mediante variables físico químicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río Garagoa* (Tesis de Maestría). Universidad de Manizales, Colombia.



- González-Córdoba, M., Zúñiga, M. D. C., & Manzo, V. (2020a). La familia Elmidae (Insecta: Coleoptera: Byrrhoidea) en Colombia: riqueza taxonómica y distribución. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 44(171), 522–553. <https://doi.org/10.18257/racefyn.1062>
- González-Córdoba, M., Zúñiga, M. D. C., Giraldo, L. P., Ramírez, Y. P., & Chará, J. (2020b). Sensibilidad de Elmidae (Insecta: Coleoptera) a la perturbación del hábitat y la calidad fisicoquímica del agua en ambientes lóticos de los Andes colombianos. *Revista de Biología Tropical*, 68(2), 601–622. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v68i2.36702>
- González-Ruiz, Y. L. A., González-Gamboa, I., Pimiento-Ortega, M. G., & Herrera-Martínez, Y. (2019). *Más extranjeros, menos nativos: registros de distribución del cangrejo rojo invasor (Procambarus clarkii) en Boyacá (Colombia)*. Memorias del XIV Encuentro de la Facultad de Ciencias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Boyacá, Colombia.
- González-Trujillo, J. D. (2016). Trait-based responses of caddisfly assemblages to the partial channelization of a High-Andean stream. *Hydrobiologia*, 766(1), 381–392. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2474-z>
- González Trujillo, J. D., Donato Rondon, J. C., Muñoz, I., & Sabater, S. (2020). Historical processes constrain metacommunity structure by shaping different pools of invertebrate taxa within the Orinoco basin. *Diversity and Distributions*, 26(1), 49–61. <https://doi.org/10.1111/ddi.12996>
- González-Trujillo, J. D., Petsch, D. K., Córdoba-Ariza, G., Rincón-Palau, K., Donato-Rondon, J. C., Castro-Rebolledo, M. I., & Sabater, S. (2019). Upstream refugia and dispersal ability may override benthic-community responses to High-Andean streams deforestation. *Biodiversity and Conservation*, 28(6), 1513–1531. <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01739-2>
- González-Tuta, Á. L., & Gil-Padilla, L. N. (2020). Composición de macroinvertebrados en las provincias de Márquez y Lengupá y posible efecto de la orogénesis en su distribución. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 44(171), 572–580. <https://doi.org/10.18257/racefyn.1037>
- Gooderham, J. P., Barmuta, L. A., & Davies, P. E. (2007). Upstream heterogeneous zones: small stream systems structured by a lack of competence? *Journal of the North American Benthological Society*, 26(3), 365–374. <http://dx.doi.org/10.1899/06-067.1>
- Gotelli, N. J., & Chao, A. (2013). Measuring and estimating species richness, species diversity, and biotic similarity from sampling data. En S. A. Levin (Ed.), *Encyclopedia of Biodiversity* (pp. 195–211). Academic Press.
- Granados-Martínez, C., & Batista, A. (2017). Macroinvertebrados acuáticos. En C. Lasso & M. Morales-Betancour (Eds.), *III. Fauna de Caño Cristales, sierra de la Macarena, Meta, Colombia* (pp. 47–65). Serie Fauna Silvestre Neotropical. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt.
- Granados-Martínez, C., & Montoya, D. (2017). Macroinvertebrados acuáticos. En F. Trujillo & C. A. Lasso (Eds.), *IV. Biodiversidad del río Bita, Vichada, Colombia* (pp. 120–142). Serie Editorial Fauna Silvestre Neotropical, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Granados-Martínez, C., Lasso, C. A., Núñez-Avellaneda, M., & Morales-Betancourt, M. A. (2018). Macroinvertebrados acuáticos de los ríos Guayabero medio, bajo Losada y bajo Duda, sierra de La Macarena, Meta, Colombia. En C. A. Lasso, M. A. Morales-Betancourt, & I. D. Escobar-Martínez (Eds.), *V. Biodiversidad de la sierra de La Macarena, Meta, Colombia. Parte I. Ríos Guayabero medio, bajo Losada y bajo Duda* (pp. 97–120). Serie Editorial Fauna Silvestre Neotropical, Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Gutiérrez, Y., & Dias, L. G. (2015). Ephemeroptera (Insecta) de Caldas-Colombia, claves taxonómicas para los géneros y notas sobre su distribución. *Papéis Avulsos de Zoologia*, 55, 13–46. <https://doi.org/10.1590/0031-1049.2015.55.02>
- Gutiérrez, C., & Reinoso-Flórez, G. (2010). Géneros de ninfas del orden Ephemeroptera (Insecta) del departamento del Tolima, Colombia: listado preliminar. *Biota Colombiana*, 11(1), 23–32.
- Hamada, N., Thorp, J. H., & Rogers, D. C. (2018). *Thorp and covich's freshwater invertebrates: Keys to neotropical Hexapoda* (Vol. 3). Academic Press.
- Heino, J. (2005). Positive relationship between regional distribution and local abundance in stream insects: a consequence of niche breadth or niche position? *Ecography*, 28(3), 345–354. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2005.04151.x>
- Heino, J. (2014). Taxonomic surrogacy, numerical resolution and responses of stream macroinvertebrate communities to ecological gradients: are the inferences transferable among regions? *Ecological Indicators*, 36, 186–194. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.07.022>
- Heino, J., Melo, A. S., Bini, L. M., Altermatt, F., Al Shami, S. A., Angeler, D. G., & Townsend, C. R. (2015a). A comparative analysis reveals weak relationships between ecological factors and beta diversity of stream insect metacommunities at two spatial levels. *Ecology and Evolution*, 5(6), 1235–1248. <https://doi.org/10.1002/ece3.1439>
- Heino, J., Melo, A. S., Siqueira, T., Soiminen, J., Valanko, S., & Bini, L. M. (2015b). Metacommunity organisation, spatial extent and dispersal in aquatic systems:

- patterns, processes and prospects. *Freshwater Biology*, 60(5), 845–869.
- Holzenthall, R. W., & Calor, A. R. (2017). Catalog of the Neotropical Trichoptera (Caddisflies). *ZooKeys*, 654, 1–566. <https://doi.org/10.3897/zookeys.654.9516>
- Jacobsen, D. (2008). Low oxygen pressure as a driving factor for the altitudinal decline in taxon richness of stream macroinvertebrates. *Oecologia*, 154(4), 795–807. <https://doi.org/10.1007/s00442-007-0877-x>
- Johnson, R. K., Furse, M. T., Hering, D., & Sandin, L. (2007). Ecological relationships between stream communities and spatial scale: implications for designing catchment level monitoring programmes. *Freshwater Biology*, 52(5), 939–958. <https://doi.org/10.1111/j.13652427.2006.01692.x>
- Jones, F. C. (2008). Taxonomic sufficiency: the influence of taxonomic resolution on freshwater bioassessments using benthic macroinvertebrates. *Environmental Reviews*, 16, 45–69. <https://doi.org/10.1139/A07-010>
- Kindt, R., & Kindt, M. R. (2019). Package ‘BiodiversityR’. *Package for community ecology and suitability analysis*, 2, 11–12.
- Lasso, C. A., Machado-Allison, A., & Taphorn, D. C. (2016). Fishes and aquatic habitats of the Orinoco River Basin: diversity and conservation. *Journal of Fish Biology*, 89(1), 174–191. <https://doi.org/10.1111/jfb.13010>
- Lasso, C. A., Usma, J. S., Trujillo, F., & Rial, A. (2010). *Biodiversidad de la cuenca del Orinoco: bases científicas para la identificación de áreas prioritarias para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Lasso, C. A., Morales-Betancourt, M. A., Bernal-Sierra, S., Acevedo-Alonso, A., Granados-Martínez, C., López-Delgado, E., & Marín, B. (2020). Macroinvertebrados acuáticos de la reserva natural Bojonawi (Escudo Guayanés), río Orinoco y planicie inundable, Vichada, Colombia. En C. A. Lasso, F. Trujillo, & M. A. Morales-Betancourt (Eds.), *VIII. Biodiversidad de la Reserva Natural Bojonawi, Vichada, Colombia: río Orinoco y planicie de inundación* (pp. 129–146). Serie Editorial Fauna Silvestre Neotropical, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- López-Delgado, 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(150), 42–49.
- Lozano, J. L., Reinoso-Flórez, G., & Cárdenas-Bautista, J. S. (2015). Macroinvertebrados acuáticos. En C. Osorio-Peláez, C. A. Lasso, & F. Trujillo (Eds.), *Aplicación de criterios bioecológicos para la identificación, caracterización y establecimiento de límites funcionales en humedales de las sabanas inundables de la Orinoquia* (pp. 205–226). Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia, Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Machado, T., & Rincón, J. (1989). *Distribución ecológica e identificación de los coleópteros acuáticos en diferentes pisos altitudinales del departamento de Antioquia*. Universidad de Antioquia.
- Machado-Allison, A., Rial, A., & Lasso, C. A. (2011). Amenazas e impactos sobre la biodiversidad y los ecosistemas acuáticos de la Orinoquia venezolana. En R. Lasso, S. Matallana, C. Díaz-Pulido, & A. Machado-Allison (Eds.), *Biodiversidad de la cuenca del Orinoco. II. Áreas prioritarias para la conservación y uso sostenible* (pp. 63–88). Instituto Alexander Von Humboldt.
- McCafferty, P., & Provonsha, A. (1981). *Aquatic Entomology*. Science Books International.
- Mendes, H. F., & Pinho, L. C. (2016). Family Chironomidae. *Zootaxa*, 4122(1), 142–153. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4122.1.16>
- Mesa, L. M., Corzo, G., Hernández-Manrique, O. L., Lasso, C. A., & Galvis, G. (2016). Ecorregiones dulceacuáticas de Colombia: una propuesta para la planificación territorial de la región trasandina y parte de las cuencas del Orinoco y Amazonas. *Biota Colombiana*, 17(2), 62–88. <https://doi.org/10.21068/C2016.v17n02a06>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Resolución N°1912 Por la cual se establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera que se encuentran en el territorio nacional, y se dictan otras disposiciones*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia. <https://www.minambiente.gov.co/documento-entidad/resolucion-1912-de-2017/>
- Motta-Díaz, Á. J., & Vimos-Lojano, D. J. (2020). Influencia de la variación temporal de los parámetros hidráulicos en la estructura y la función de la comunidad de macroinvertebrados en un río andino. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 44(171), 606–621. <https://doi.org/10.18257/raccefy.1023>
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O’hara, R. B., Solymos, P., Stevens, H. M., Szoecs, E., Wagner, H., Barbour, M., Bedward, M., Bolker, B., Borcard, D., Carvalho, G., Chirico, M., De Caceres, M., Durand, S., Antoniazzi, H. B., ...Weedon, J. (2013). *vegan: Community Ecology Package*. <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/index.html>



- Ospina-Torres, R., Riss, W., & Ruíz, J. L. (1999). Guía para la identificación genérica de larvas de quironómidos (Diptera: Chironomidae: Orthoclaudiinae) de la Sabana de Bogotá. I. Subfamilia Orthoclaudiinae (pp.363–384). En G. Amat, M. G. Andrade, & F. Fernández (Eds.), *Insectos de Colombia II*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Oviedo-Machado, N., & Reinoso-Flórez, G. (2018). Aspectos ecológicos de larvas de Chironomidae (Diptera) del río Opía (Tolima, Colombia). *Revista Colombiana de Entomología*, 44(1), 101–109. <https://doi.org/10.25100/socolen.v44i1.6546>
- Perrigo, A., Hoorn, C., & Antonelli, A. (2020). Why mountains matter for biodiversity. *Journal of Biogeography*, 47(2), 315–325. <https://doi.org/10.1111/jbi.13731>
- Peters, M. K., Hemp, A., Appelhans, T., Behler, C., Clasen, A., Detsch, F., & Steffan-Dewenter, I. (2016). Predictors of elevational biodiversity gradients change from single taxa to the multi-taxa community level. *Nature Communications*, 7(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/ncomms13736>
- Prat, N., Acosta, R., Villamarín, C., & Rieradevall, M. (2018). *Guía para el reconocimiento de las larvas de Chironomidae (Diptera) de los ríos Altoandinos de Ecuador y Perú. Clave para la determinación de los principales morfotipos larvarios*. Grupo de Investigación F.E.M.
- Prat, N., Ríos, B., Acosta, R., & Rieradevall, M. (2009). Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y Biología*, 1, 631–654.
- Ríos-Touma, B., & Ramírez, A. (2019). Multiple stressors in the neotropical region: Environmental Impacts in biodiversity hotspots. In S. Sabater, A. Elosegi, & R. Ludwig (Eds.), *Multiple stressors in river ecosystems: Status, impacts and prospects for the future* (pp. 205–220). Elsevier.
- Ríos-Touma, B., Encalada, A. C., & Prat, N. (2011). Macroinvertebrate assemblages of an Andean high altitude tropical stream: The importance of season and flow. *International Review of Hydrobiology*, 96(6), 667–685. <https://doi.org/10.1002/iroh.201111342>
- Rodriguez-Capítulo, A., Muñoz, I., Caparrós, N. B., Gaudes, A., & Tomanova, S. (2009). La biota de los ríos: los invertebrados. En A. Elosegui (Ed.), *Conceptos y técnicas en ecología fluvial* (p. 253–270). Fundación BBVA.
- Roldán-Pérez, G. (1988). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia*. Universidad de Antioquia, Colombia.
- Roldán-Pérez, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(155), 254–274. <https://doi.org/10.18257/raccefyfn.335>
- Rojas-Sandino, L. D., Reinoso-Flórez, G., & Vásquez-Ramos, J. M. (2018). Distribución espacial y temporal de dípteros acuáticos (Insecta: Diptera) en la cuenca del río Alvarado, Tolima, Colombia. *Biota Colombiana*, 19(1), 70–91. <https://doi.org/10.21068/c2018.v19n01a05>
- Romero, I. R., Pérez, S. M., & Rincón, M. E. (2006). Aspectos ecológicos de los Trichoptera del Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos, Huila (Colombia). *Actualidad y Divulgación Científica*, 9, 129–140.
- Romero, I., & Noriega, J. A. (2013). Chinchas acuáticas de la superfamilia Nepoidea (Hemiptera: Nepomorpha) de Colombia: nuevos registros para Suramérica y ampliación de su distribución en el país. *Biota Colombiana*, 14(2), 91–106.
- Ruíz-Moreno, J. L., Ospina-Torres, R., & Riss, W. (2000a). Guía para la identificación genérica de larvas de quironómidos (Diptera: Chironomidae) de la Sabana de Bogotá. II subfamilia Chirominae. *Caldasia*, 22(1), 15–33.
- Ruíz-Moreno, J. L., Ospina-Torres, R., Gómez-Sierra, H., & Riss, W. (2000b). Guía para la identificación genérica de larvas de quironómidos (Diptera: Chironomidae) de la Sabana de Bogotá. III subfamilias Tanypodinae, Podonominae y Diamesinae. *Caldasia*, 22(1), 15–33.
- Salinas-Jiménez, L. G., Rojas-Peña, J. I., Osorio-Ramírez, D. P., & Caro-Caro, C. I. (2017). New records of Ephemeroptera from the Colombian Orinoco river basin of the Meta department. *Revista Colombiana de Entomología*, 43(2), 271–276.
- Silva, D. R., Ligeiro, R., Hughes, R. M., & Callisto, M. (2014). Visually determined stream mesohabitats influence benthic macroinvertebrate assessments in headwater streams. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(9), 5479–5488. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3797-3>
- Silveira, M. P., de Queiroz, J. F., & Boeira, R. C. (2004). *Protocolo de coleta e preparação de amostras de macroinvertebrados bentônicos em riachos*. Embrapa Meio Ambiente-Comunicado Técnico (INFOTECA-E).
- Springer, M., Ramírez, A., & Hanson, P. (2010). Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica I. *Revista de Biología Tropical*, 58(4), 151–198.
- Stevens, G. C. (1989). The latitudinal gradient in geographical range: how so many species coexist in the tropics. *The American Naturalist*, 133(2), 240–256.

- RStudio Team. (2018). *RStudio: integrated development for R*. RStudio, Inc. Boston, Estados Unidos de América. <http://www.rstudio.com/>
- Tomanova, S., & Usseglio-Polatera, P. (2007). Patterns of benthic community traits in neotropical streams: relationship to mesoscale spatial variability. *Fundamental and Applied Limnology-Archiv fur Hydrobiologie*, 170(3), 243–256.
- Valencia, D. M., & Campos, M. R. (2007). Freshwater prawns of the genus *Macrobrachium* Bate, 1868 (Crustacea: Decapoda: palaemonidae) of Colombia. *Zootaxa*, 1456(1), 1–44.
- Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R., & Cushing, C. E. (1980). The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(1), 130–137. <https://doi.org/10.1139/f80-017>
- Vásquez-R, J. M., & Bocanegra-M, J. S. (2019). Aspectos ecológicos de decápodos del río Guayuriba (Meta, Colombia). *Caldasia*, 41(2), 392–403. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v41n2.69544>
- Vásquez-Ramos, J. M., Guevara-Cardona, G., & Reinoso-Flórez, G. (2014). Factores ambientales asociados con la preferencia de hábitat de larvas de tricópteros en cuencas con bosque seco tropical (Tolima, Colombia). *Revista de Biología Tropical*, 62, 21–40.
- Vásquez-Ramos, J. M., Ramírez-Díaz, F., Reinoso-Flórez, G., & Guevara-Cardona, G. (2010). Distribución espacial y temporal de los tricópteros inmaduros en la cuenca del río Totare (Tolima Colombia). *Caldasia*, 32(1), 129–148.
- Vásquez-Ramos, J., & Reinoso-Flórez, G. (2012). Estructura de la fauna béntica en corrientes de los Andes colombianos. *Revista Colombiana de Entomología*, 38(2), 351–358.
- Villamarín, C., Villamarín-Cortez, S., Salcido, D. M., Herrera-Madrid, M., & Ríos-Touma, B. (2021). Drivers of diversity and altitudinal distribution of chironomids (Diptera: Chironomidae) in the Ecuadorian Andes. *Revista de Biología Tropical*, 69(1), 113–126. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v69i1.40964>
- Vimos-Lojano, D. J., Martínez-Capel, F., Hampel, H., & Vázquez, R. F. (2019). Hydrological influences on aquatic communities at the mesohabitat scale in high Andean streams of southern Ecuador. *Ecohydrology*, 12(1), e2033. <https://doi.org/10.1002/eco.2033>
- Waite, I. R., Herlihy, A. T., Larsen, D. P., Urquhart, N. S., & Klemm, D. J. (2004). The effects of macroinvertebrate taxonomic resolution in large landscape bioassessments: an example from the Mid-Atlantic Highlands, USA. *Freshwater Biology*, 49(4), 474–489. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2004.01197.x>
- Wahl, C. M., Neils, A., & Hooper, D. (2013). Impacts of land use at the catchment scale constrain the habitat benefits of stream riparian buffers. *Freshwater Biology*, 58(11), 2310–2324. <https://doi.org/10.1111/fwb.12211>
- Walteros-Rodríguez, J. M., & Castaño-Rojas, J. M. (2020). Composición y aspectos funcionales de los macroinvertebrados acuáticos presentes en una microcuenca de cabecera en los Andes de Risaralda, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 44(171), 581–592. <https://doi.org/10.18257/raccefyfyn.1085>
- Wetzel, R., & Likens, G. (2000). *Limnological Analyses*. Springer.
- Wiggins, G. (1996). *Larvae of the North American caddisfly genera (Trichoptera)*. University of Toronto Press.