

Artículo original

## Composición y aspectos funcionales de los macroinvertebrados acuáticos presentes en una microcuenca de cabecera en los Andes de Risaralda, Colombia

### Composition and functional aspects of the aquatic macroinvertebrates present in a headwaters microbasin in the Andes of Risaralda, Colombia

✉ Jeymy Milena Walteros Rodríguez\*, Juan Mauricio Castaño Rojas

Grupo de investigación Ecología Ingeniería y Sociedad-EIS, Universidad Tecnológica de Pereira

#### Resumen

Los macroinvertebrados acuáticos cumplen un rol ecológico importante en los ecosistemas acuáticos porque permiten comprender la dinámica del flujo de energía y de los nutrientes, así como de las relaciones tróficas. Son pocos los estudios asociados con microcuencas de cabeceras andinas, y, en ese contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la heterogeneidad de microhábitats en la riqueza de los taxones y los grupos funcionales alimenticios en los macroinvertebrados acuáticos presentes en la microcuenca Dalí, Andes centrales de Colombia. Se hicieron monitoreos bianuales entre el 2012 y el 2016 de los aspectos biofísicos mediante el índice de hábitat fluvial, así como de los macroinvertebrados acuáticos recolectados con red Surber en los microhábitats dominantes en cinco estaciones a lo largo de la quebrada Dalí y de dos tributarios. La asignación de los grupos funcionales alimenticios se hizo con base en la revisión de la literatura especializada. En general, se registró un hábitat fluvial bien construido. Se recolectaron 34.144 organismos pertenecientes a 147 taxones que se clasificaron en seis grupos funcionales alimenticios, siendo el de los recolectores el más abundante, seguido de los fragmentadores. El sustrato rocoso fue el microhábitat más diverso. Se observaron diferencias significativas entre los microhábitats ( $p < 0,05$ ) y una correlación positiva de Pearson ( $r^2: 0,923$ ) entre la riqueza de taxones y las condiciones del hábitat fluvial. Estos resultados confirman que la microcuenca Dalí presenta el patrón típico de las corrientes de cabecera, entornos muy heterogéneos donde la presencia de material alóctono, la heterogeneidad de los microhábitats e, incluso, las coberturas vegetales influyen ya sea positiva o negativamente en la comunidad de los macroinvertebrados acuáticos.

**Palabras clave:** Invertebrados acuáticos; Grupos funcionales alimenticios; Heterogeneidad fluvial; Quebrada Dalí; Corrientes andinas.

#### Abstract

Aquatic macroinvertebrates play a critical ecological role in aquatic ecosystems because they allow understanding the dynamics of the energy and nutrient flow, as well as the existing trophic relationships. However, there are few studies about the structure and composition of aquatic macroinvertebrates in Andean headwaters streams. In this study, we aimed to evaluate the effect of microhabitat heterogeneity on the taxa richness and functional diversity of aquatic macroinvertebrates in the Dalí Creek, a low order creek in the Central Andes of Colombia. From 2012 to 2016, surveys were conducted twice a year in seven sampling reaches where we evaluated the fluvial habitat index and sampled its dominant microhabitats for aquatic macroinvertebrates. We collected 34,144 organisms grouped in 147 taxa that were classified into six functional groups, with collector and litter fragmenter groups being the most abundant. The rocky substrate was the microhabitat with the highest diversity. The difference in the taxa richness between microhabitats was statistically

**Citación:** Walteros Rodríguez JM, Castaño Rojas JM. Composición y aspectos funcionales de los macroinvertebrados acuáticos presentes en una microcuenca de cabecera en los Andes de Risaralda, Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. 44(171):581-592, abril-junio de 2020. doi: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1085>

**Editor:** María Isabel Ríos Pulgarín

**\*Correspondencia:**

Jeymy Milena Walteros Rodríguez; [jeymy.walteros@utp.edu.co](mailto:jeymy.walteros@utp.edu.co)

**Recibido:** 12 de diciembre de 2019

**Aceptado:** 15 de abril de 2020

**Publicado:** 30 de junio de 2020



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

significant ( $p < 0.05$ ) and Pearson's correlation between taxa richness and the fluvial habitat index of the sampled reaches was positive ( $r^2 = 0.923$ ). Our results showed that even in headwaters, the heterogeneity of the reaches and microhabitats determines the composition and abundance of aquatic macroinvertebrates.

**Keywords:** Aquatic invertebrates; Functional feeding groups; Fluvial heterogeneity; Dalí Creek; Andean streams.

## Introducción

Las quebradas de cabecera son ecosistemas extremadamente heterogéneos, no solo por sus condiciones biofísicas particulares, sino por la biodiversidad que comúnmente resguardan, por lo que su comunidad de macroinvertebrados acuáticos suele presentar una gran variabilidad espacio-temporal (Gomi, *et al.*, 2002; Gordon, *et al.*, 2004; Clarke, *et al.*, 2008; Bae, *et al.*, 2016). En algunos estudios se ha evidenciado la relación entre los factores geomorfológicos e hidroclimatológicos y la distribución de las especies de organismos (Ramírez & Pringle, 1998; Malmqvist, 2002; Gordon, *et al.*, 2004; Ríos-Pulgarín, *et al.*, 2016). También se ha reportado la relación entre los mesohábitats (rápidos o remansos) e, incluso, la heterogeneidad de sustratos con la colonización de los macroinvertebrados acuáticos con mayor diversidad en los sustratos rocosos y de hojarasca (Tomanova, *et al.*, 2006; Domínguez, *et al.*, 2009; Chará, *et al.*, 2010).

Para evaluar la estructura trófica, es decir, la manera como los macroinvertebrados acuáticos dependen del recurso alimentario, es necesario comprender las relaciones entre los procesos físicos y los biológicos (Vannote, *et al.*, 1980). En las microcuencas de cabecera la entrada de materia orgánica gruesa en partículas suele ser la principal fuente de energía porque hay una estrecha relación con el ecosistema terrestre (Ríos-Touma, *et al.*, 2011; Meza-Salazar, *et al.*, 2012), por lo que en estos tramos se observa una gran diversidad de macroinvertebrados acuáticos asociada con la alta heterogeneidad de hábitats (Jacobsen, *et al.*, 2008; Torres-Zambrano & Torres-Zambrano, 2016).

En Colombia se han estudiado las relaciones entre la disponibilidad de recursos y la estructura de los grupos funcionales alimenticios (GFA), así como la diversidad específica asociada con los hábitats (Rodríguez-Barríos, *et al.*, 2011; Chará-Serna, *et al.*, 2012; Vásquez-Ramos & Reinoso, 2012; Longo & Blanco, 2014; Torres-Zambrano & Torres-Zambrano, 2016; Villada-Bedoya, *et al.*, 2017) de los ríos del trópico con intervenciones antrópicas. Sin embargo, también es necesario estudiar las quebradas de las cabeceras y los nacimientos de sistemas fluviales para comprender y ampliar el conocimiento sobre la dinámica ecológica de nuestros ríos (Ramírez & Gutiérrez-Fonseca, 2014), así como los procesos que ocurren entre los sistemas terrestres y acuáticos (Heino, *et al.*, 2003; Clarke, *et al.*, 2008; Lorion & Kennedy, 2009; Bae, *et al.*, 2016).

Específicamente en la cuenca del río Otún se han hecho estudios como los de Bernal, *et al.* (2006) y Chará-Serna, *et al.* (2010) en los que se caracterizaron los macroinvertebrados acuáticos presentes en quebradas andinas tomando como referente para el análisis los microhábitats. En la zona de estudio, Walteros, *et al.* (2016) evaluaron la calidad ecológica de la microcuenca Dalí con base en algunos indicadores estructurales y funcionales de interés.

Si bien hay estudios sobre el papel de los macroinvertebrados acuáticos en los ecosistemas andinos, es necesario explorarlo en las corrientes de cabecera, donde han sido evidentes algunos efectos de perturbación. Un estudio crucial para esta investigación es el propuesto por Lorion & Kennedy (2009), quienes compararon los macroinvertebrados acuáticos en corrientes de cabecera con rangos altitudinales similares donde eran evidentes los efectos de la deforestación en la franja forestal ribereña. En el caso de la microcuenca Dalí, sin embargo, actualmente se evidencia un proceso de sucesión ecológica natural.

En este contexto, el propósito del presente estudio fue evaluar el efecto de la heterogeneidad de microhábitats en la riqueza de taxones y de los grupos funcionales alimenticios en los macroinvertebrados acuáticos presentes en la microcuenca Dalí. Las preguntas de

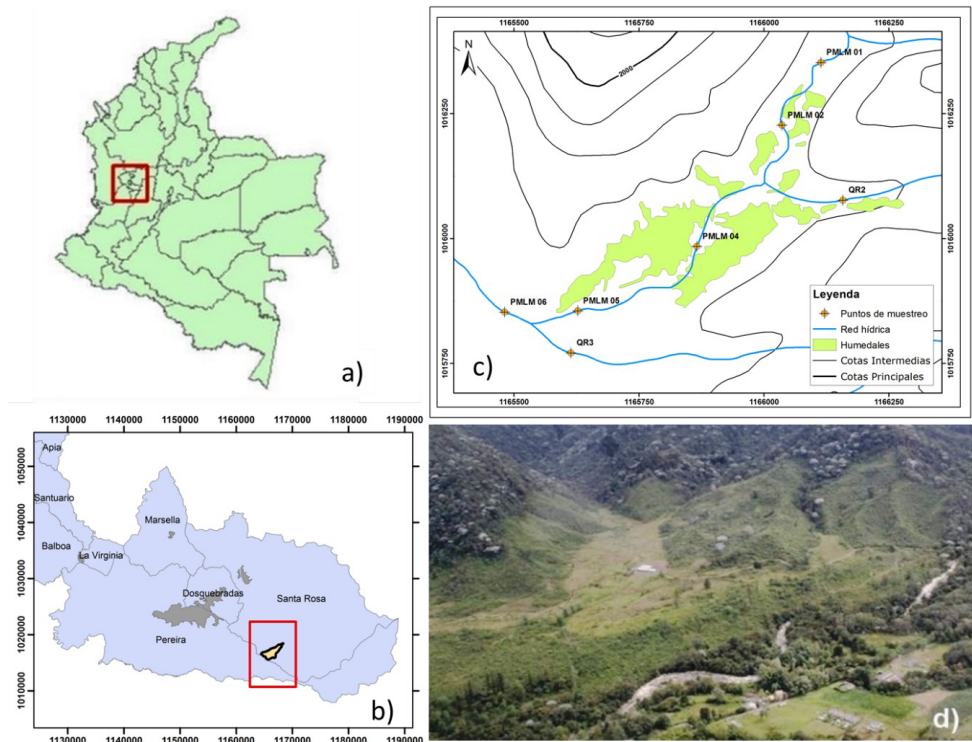
investigación fueron las siguientes: ¿cómo varía la riqueza taxonómica y de los grupos funcionales alimenticios en los diferentes tramos muestreados en la quebrada Dalí y en sus tributarios? y ¿cómo determina la heterogeneidad de microhábitats acuáticos la estructura funcional alimenticia de los macroinvertebrados en la microcuenca? Se esperaba que, en la parte media de la microcuenca, donde es evidente el proceso de sucesión ecológica natural y existe una interacción con el complejo de humedales, la riqueza de taxones y la abundancia de macroinvertebrados acuáticos según los grupos funcionales alimenticios fuera similar a la composición y la estructura trófica del tramo de referencia, reconociendo las excelentes condiciones biofísicas y la alta heterogeneidad en el tramo muestreado.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

La microcuenca de la quebrada Dalí se encuentra en la vereda San José, municipio de Santa Rosa de Cabal, Risaralda, y pertenece a la cuenca alta del río Otún (**Figura 1**). Tiene una extensión de 430 ha, con un rango altitudinal entre los 1.750 y los 2.700 m, es decir, se ubica en la franja de bosque andino. La corriente principal de la quebrada Dalí se considera de segundo orden, en tanto que sus dos tributarios son de primer orden (**Walteros, et al., 2016**).

En su parte alta esta microcuenca presenta un relieve montañoso de pendiente mayor a 60 %, con predominio de bosque secundario natural y ripario. En la parte media, la quebrada Dalí recorre un valle en el que se encuentra un complejo de humedales del tipo de pantano arbustivo, el cual drena a esta fuente. Por último, en la parte baja de la quebrada reaparece la pendiente y hay una densa protección del bosque de ribera, lo que hace difícil su acceso.



**Figura 1.** Microcuenca Dalí, cuenca alta del río Otún. **a)** Ubicación de las estaciones de muestreo en Dalí y sus tributarios. **b)** Referencia con el departamento de Risaralda. **c)** Ubicación de las estaciones de muestreo en Dalí y sus tributarios. **d)** Fotografía aérea de la microcuenca Dalí (parte media, zona de planicie inundable). Fuente: SIG-UTP (2017) y Aguas y Aguas de Pereira (2012).

Debe destacarse que en esta microcuenca se evidencia actualmente un proceso de sucesión natural de más de 10 años tanto en sus corrientes (principalmente la Dalí y un tributario) como en la franja intermedia de valle, donde se encuentra el complejo de humedales, proceso que se ha dado luego de las actividades ganaderas y forestales que se desarrollaron allí treinta años atrás (**Parques Nacionales Naturales de Colombia-PNNC**, 2007; **Walteros, et al.**, 2016).

### ***Muestreo***

Entre el 2012 y el 2016 se monitorearon cinco estaciones en la quebrada Dalí (PMLM01, PMLM02, PMLM04, PMLM05 y PMLM06) y dos en los tributarios reconocidos por la nomenclatura QR2 y QR3 (**Figura 1**). Se hicieron dos muestreos por años en los picos de la temporada de lluvias y de la época seca. La estación de referencia (PMLM01, sin intervención antropogénica alguna) se seleccionó con ayuda del protocolo propuesto por **Acosta, et al.** (2009).

### ***Evaluación de la calidad del hábitat***

En cada estación de muestreo se definió un tramo de 20 m lineales, aproximadamente, donde se evaluó anualmente el hábitat mediante el índice de hábitat fluvial (IHF) adaptado para la región andina por **Acosta, et al.** (2009), el cual incluye los siguientes aspectos: inclusión de rápidos (IHF1), frecuencia de rápidos (IHF2), composición de sustrato (IHF3), régimen de velocidad y profundidad (IHF4), porcentaje de sombra (IHF5), elementos de heterogeneidad (IHF6) y cobertura vegetal acuática (IHF7).

### ***Muestreo de los macroinvertebrados acuáticos***

Para la recolección de los macroinvertebrados acuáticos se utilizó una red Surber que cubre un área de 900 cm<sup>2</sup> por muestra tomada. Se muestrearon los microhábitats dominantes en cada corriente, es decir, sustrato rocoso (SR), orilla con vegetación (OV), hojarasca (Ho), sedimento fino (SF) y orilla con raíces (OR), con base en el protocolo propuesto por **Silveira, et al.** (2004). Se tomaron cuatro muestras en cada microhábitat.

El material biológico recolectado se preservó en alcohol al 90 % y se etiquetó en bolsas plásticas para su posterior análisis en el laboratorio. Se hizo la identificación taxonómica hasta el nivel de género con ayuda de claves especializadas (**Manzo**, 2005; **Domínguez, et al.**, 2009; **Flowers & De La Rosa**, 2010; **Springer**, 2010; **Prat, et al.**, 2012).

### ***Análisis de los datos***

Para conocer la riqueza y abundancia taxonómicas, se evaluaron de manera general y a escala espacial los tramos muestreados elaborando gráficos de barras. Se hizo un análisis a nivel de género para la riqueza de taxones y a nivel de órdenes para las abundancias relativas (**Moreno**, 2001).

Para la asignación de los grupos funcionales alimenticios (GFA) se tomaron como referencia las propuestas de **Chará, et al.** (2010) y **Ramírez & Gutiérrez-Fonseca** (2014), las cuales consideran los niveles de familia o género, y se estableció la siguiente clasificación: colectores (Co), recolectores (CoR), filtradores (Fil), depredadores (De), fragmentadores (Frag) y raspadores (Ras).

Se correlacionó la riqueza de taxones con el valor del índice de hábitat fluvial (IHF) usando el coeficiente de Pearson. Se hizo un análisis de varianza ANOVA para evaluar las diferencias entre las abundancias y la riqueza de organismos con los GFA en las estaciones y microhábitats. Las diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) se sometieron posteriormente a una prueba de Tukey.

Con el fin de comparar las relaciones entre las estaciones con base en los microhábitats dominantes y las abundancias de organismos por grupos funcionales alimenticios, se hizo un análisis discriminante basado en el índice Bray-Curtis como medida de similitud. Este método de ordenación permitió visualizar las relaciones entre los grupos en un espacio multidimensional y evaluar las representaciones en dos dimensiones. Asimismo, para analizar las diferencias en la distribución de los GFA en los microhábitats dominantes, se

hizo un análisis de similitud de una vía (ANOSIN) utilizando las estaciones de muestreo como factor. Para estos análisis se emplearon los programas RWizard v.1 (Guisande, 2014) y PAST 1.78 (Hammer, *et al.*, 2001).

## Resultados

### *Calidad del hábitat fluvial*

Los tramos evaluados se caracterizaron por la dominancia del sustrato rocoso, sobretudo del tipo de cantos rodados y grava, y con la excepción del tributario denominado QR3, donde la dominancia es el sedimento fino del tipo de limo amarillo ocre. En las estaciones ubicadas en la zona media de la quebrada Dalí se registraron sedimentos finos provenientes del escurrimiento del complejo de humedales.

Aunque la diferencia altitudinal entre las estaciones no es marcada, predominó la frecuencia de rápidos en las estaciones PMLM01, PMLM02 y PMLM06, en comparación con las estaciones ubicadas en la zona media (PMLM04, PMLM05, QR2 y QR3), las cuales registran más zonas de remansos. Por lo tanto, los regímenes de velocidad y profundidad estuvieron mejor representados en las estaciones de la parte alta, encontrándose combinaciones de categorías de lentos y someros, rápidos y someros y rápidos y profundos, principalmente, en tanto que en la zona media de la microcuenca predominaron los regímenes lento y profundo y rápido y somero.

Durante el tiempo de monitoreo se observaron diferencias significativas tanto en la quebrada Dalí como en sus dos tributarios. En particular las estaciones PMLM04, PMLM05 y PMLM06 en la quebrada Dalí presentaron cambios significativos con respecto al porcentaje de cobertura del cauce y los elementos de heterogeneidad y de cobertura de la vegetación acuática (K-W:  $p < 0,05$ ), así como en el tributario QR3, aunque no tan pronunciados. En cuanto al porcentaje de sombra del cauce, se observaron diferencias a lo largo del tiempo de muestreo, particularmente en la zona media del cauce de la quebrada Dalí. En el 2012 se registró un cauce totalmente expuesto y en el 2016, condiciones de sombreado con ventanas en las estaciones PMLM04 y PMLM05 y de sombreado total en la estación PMLM06, razón por la cual el aporte de elementos de heterogeneidad, como la hojarasca y los troncos y ramas, también fue aumentando. En cuanto al tributario QR3, fue evidente el incremento de la cobertura de vegetación acuática, particularmente de *Myriophyllum aquaticum* (pinito de agua) enraizada en el sedimento fino y *Cladophora* (alga filamentosa), adherida al sustrato rocoso.

### *Composición de los macroinvertebrados acuáticos*

Se recolectaron 34.144 individuos agrupados en 25 órdenes, 76 familias y 102 géneros. De los 147 taxones reportados, 101 se registraron en el microhábitat de sustrato rocoso, 97 en orilla con vegetación, 71 en hojarasca, 58 en el sedimento fino y 38 se asociaron con el de orilla con raíces (Figura 2). Este último sustrato solo fue dominante en el tributario QR2.

Los insectos acuáticos fueron el grupo dominante, con 58 familias distribuidas en 10 órdenes (Anexo 1, <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/1085/2759>). La mayor abundancia de individuos se registró en el orden Diptera, con un 26,5 % sobre el total de organismos recolectados, seguido de Ephemeroptera, con 23 %.

El microhábitat de sustrato rocoso fue el de mayor representación, con un 45 %, seguido del de orilla con vegetación, con un 34 % y el de hojarasca, con un 11,5 %. El orden Coleoptera se destacó por su presencia en el sustrato rocoso, con 32 %, y Ephemeroptera con un 32,5 % en el de orilla con vegetación, mientras que Diptera fue más abundante en el de hojarasca, con un 46 %, y el de sedimento fino, con un 39,3 %. En el tributario QR2 el sustrato de orilla con raíces tuvo una proporción más homogénea y allí predominó la presencia de Coleoptera y Diptera (Figura 3).

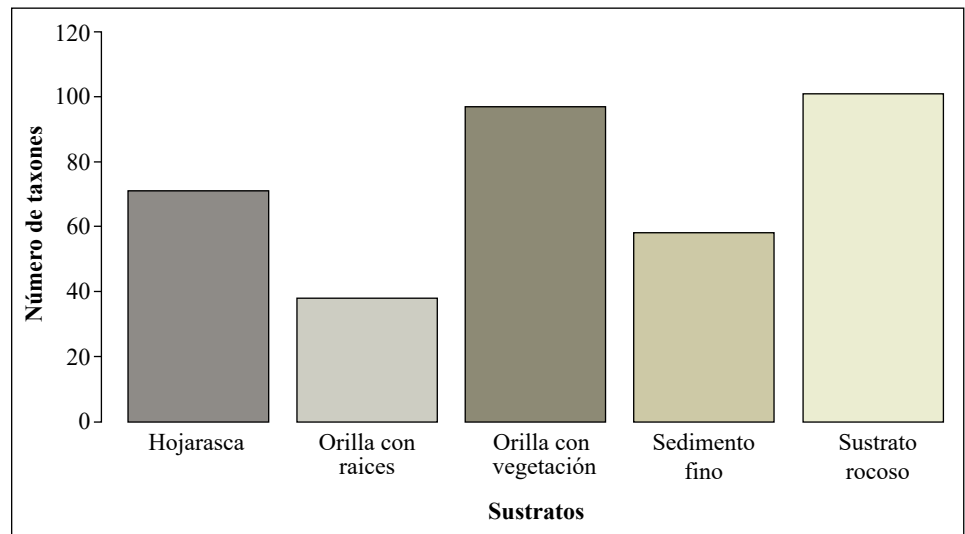
Se encontraron diferencias significativas entre la riqueza de géneros por estaciones ( $p=0,007$ ), así como de abundancias de individuos por microhábitats ( $p=1,743e^{-08}$ ). No se registraron diferencias significativas en la riqueza de géneros por microhábitats ( $p=0,644$ ).

En la prueba de Tukey se encontraron diferencias significativas, especialmente en los sustratos de hojarasca y orilla con vegetación, sustrato fino y orilla con vegetación, sustrato rocoso y hojarasca y sustrato rocoso y sedimento fino.

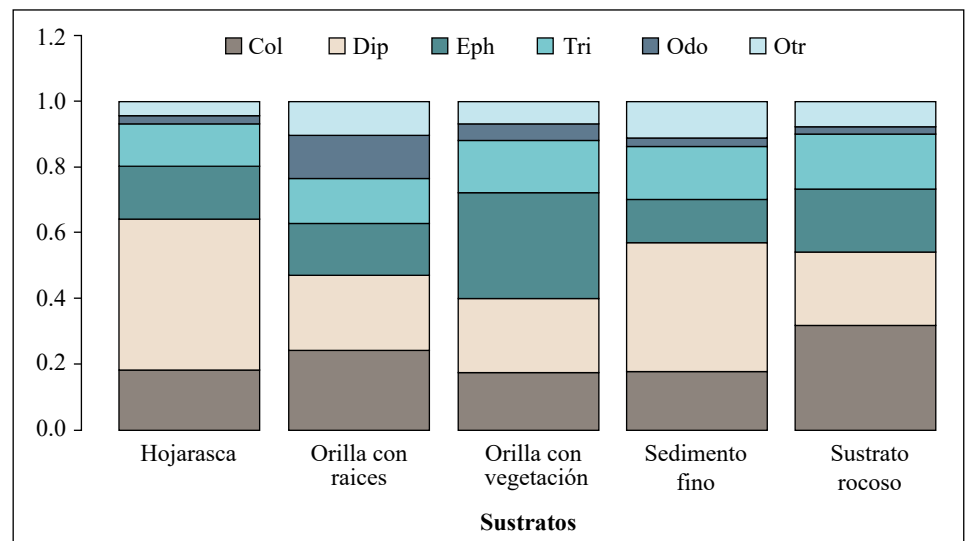
En general, se evidenció una correlación positiva entre la riqueza de taxones y el índice de hábitat fluvial ( $r^2=0,923$ ).

**Grupos funcionales alimenticios**

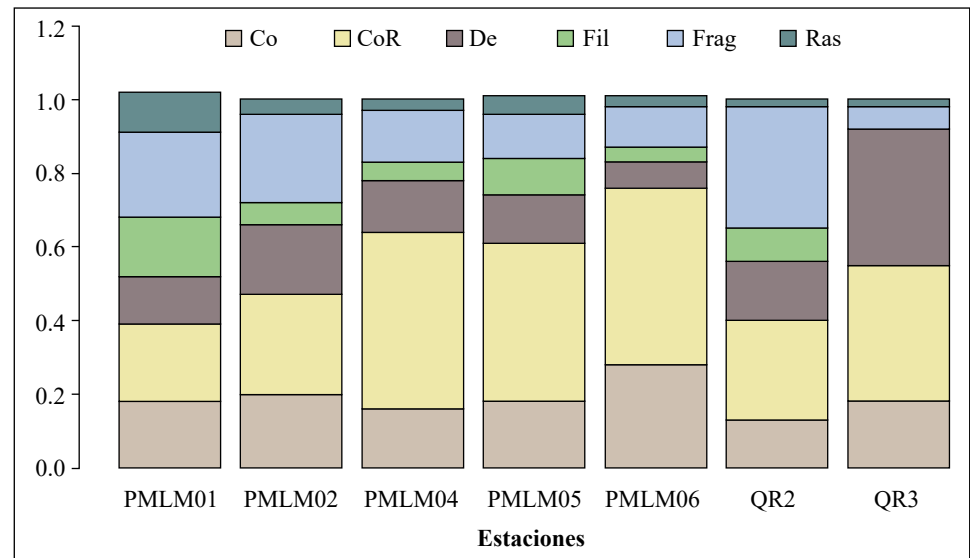
Los recolectores fueron el grupo funcional alimenticio dominante, con un 36,4 % (N: 12425, S: 28), seguido de los fragmentadores, con un 17,8 % (N: 6086, S: 16) y los colectores, con un 17,4 % (N: 5952, S: 24). Los depredadores (13,7 %, N: 4667, S: 60), filtradores (8,2 %, N: 2821, S: 9) y los raspadores (6,1 %, N: 2104, S: 16) presentaron los valores más bajos.



**Figura 2.** Riqueza taxonómica de macroinvertebrados acuáticos en cada tipo de los microhábitats en la microcuenca Dalí, cuenca alta del río Otún-Colombia



**Figura 3.** Composición de los órdenes más abundantes de macroinvertebrados acuáticos presentes en los diferentes microhábitats encontrados en la microcuenca Dalí, cuenca alta del río Otún-Colombia



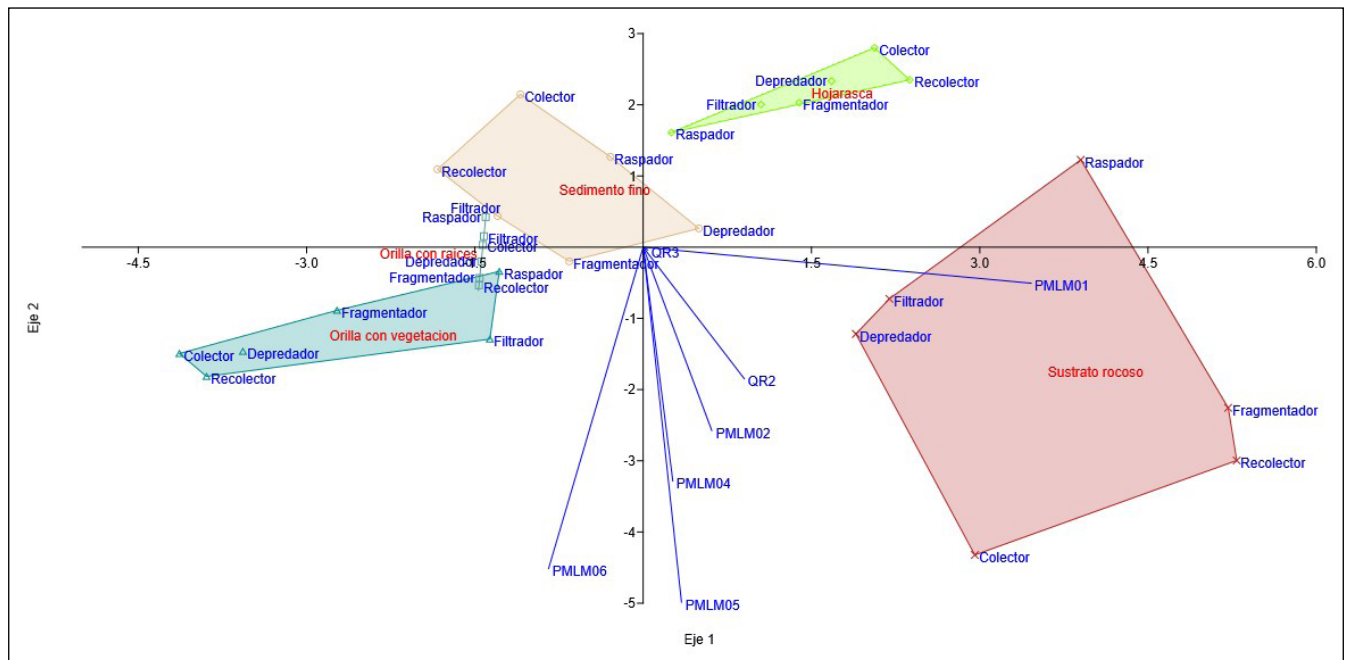
**Figura 4.** Estructura trófica funcional en la microcuenca Dalí, cuenca alta del río Otún-Colombia

El porcentaje de individuos por GFA varió según las estaciones (**Figura 4**), encontrándose mayor representación de fragmentadores en la estación de referencia (PMLM01) y el tributario QR2, en tanto que los recolectores fueron los más abundantes en las estaciones ubicadas en la parte media de la microcuenca (PMLM04, PMLM05 y PMLM06), superando el 40 % del total de individuos. En cuanto al tributario QR3, los depredadores dominaron. Los raspadores fueron abundantes en la estación de referencia (PMLM01), y esta presentó la mayor equidad entre los grupos tróficos funcionales reportados. No se registraron filtradores ni raspadores en la estación QR3.

El análisis discriminante reveló que la estación PMLM01 era muy heterogénea, con dominio del microhábitat de hojarasca y abundancia de organismos en los GFA. Por lo tanto, se observó una separación fuerte y positiva entre este punto de referencia y los demás. Por el contrario, se evidenció un grado de separación con las estaciones ubicadas en la parte media de la quebrada Dalí (PMLM04, PMLM05 y PMLM06), donde, si bien se registraron organismos pertenecientes a todos los GFA, estos no fueron tan abundantes. También se evidenció en el tributario QR3 el dominio del sedimento fino y la abundancia de organismos depredadores, en tanto que el tributario QR2 fue el único con dominancia del microhábitat de orilla con raíces. En general, el análisis no reveló un patrón de asociación particular, sin embargo, es importante evidenciar que separó la estación de referencia, la PMLM01, y con un poco más de distancia, el tributario QR2, el cual presentó mejores condiciones biofísicas (**Figura 5**). Dicha separación se ve respaldada en el eje 1 por los dos microhábitats más dominantes en este estudio, es decir, el sustrato rocoso y el de hojarasca. El eje 1 ( $p: 6,14$ ) explicó el 62 % de la varianza de abundancia de organismos en los GFA, y el eje 2 ( $p: 2,37$ ), el 24 %. La correlación de esta clasificación fue del 87 %.

## Discusión

Los resultados de este estudio corroboran el supuesto de que en las microcuencas de cabecera con procesos de sucesión ecológica natural como los reportados en la microcuenca Dalí, la riqueza de taxones y de grupos funcionales alimenticios es similar. Sin embargo, se observó la diferencia entre la estación de referencia y las estaciones de la parte media, donde se concentra la interacción entre el complejo de humedales y la quebrada Dalí. Puede afirmarse, por lo tanto, que los macroinvertebrados acuáticos son modelos eficientes para evaluar los impactos en corrientes alteradas (**Lorion & Kennedy, 2009; Villada-Bedoya, et al., 2017**).



**Figura 5.** Análisis discriminante basado en las abundancias de organismos según los GFA registrados en los microhábitats de cada una de las estaciones muestreadas en la microcuenca Dalí

Las óptimas condiciones del hábitat fluvial tanto en la quebrada Dalí como en el tributario QR2, son uno de los referentes claves para confirmar la heterogeneidad espacial, la cual estaría influenciada por las estaciones de la parte alta, en particular por la estación de referencia PMLM01, y puede ser determinante para la presencia de los taxones de invertebrados que habitan en estas quebradas, cuya capacidad de dispersión les permite colonizar rápidamente tramos de las corrientes después de haber presentado alguna perturbación (Gomi, *et al.*, 2002; Malmqvist, 2002; Heino, *et al.*, 2003; Clarke, *et al.*, 2008).

Durante el tiempo de muestreo se evidenció que, aunque el tributario QR3 no presenta estas óptimas condiciones, sí ha pasado de tener un hábitat empobrecido a uno de mejores condiciones que facilitan el establecimiento de invertebrados acuáticos. Por lo tanto, esta corriente puede ser un buen referente para estudiar los efectos de la restauración fluvial a lo largo del tiempo.

Se registraron los patrones que determinan las características propias de las corrientes andinas, tal como lo describen Ríos-Touma, *et al.* (2011): la combinación de rápidos y remansos, la presencia de diferentes sustratos orgánicos e inorgánicos e, incluso, la de orillas con vegetación densa y heterogénea que incluye desde briófitos hasta árboles con buena cobertura de dosel. La presencia de estas características permite considerar a microcuencas como la Dalí como entornos altamente heterogéneos (Clarke, *et al.*, 2008; Bae, *et al.*, 2016) con una fauna única que puede influir aguas abajo (Vannote, *et al.*, 1980).

Sin embargo, es necesario llevar el análisis hasta la escala de microhábitats para comprender las relaciones y la competencia por el recurso. En este sentido, se destacó la combinación de microhábitats de sustrato rocoso y de hojarasca en casi todas las estaciones, lo que asegura la abundancia y riqueza de organismos, así como la de los grupos funcionales alimenticios, preferentemente la de recolectores y fragmentadores, claves en la transformación de la materia orgánica que ingresa al sistema acuático (Heino, *et al.*, 2003; Lorion & Kennedy, 2009; Ríos-Touma, *et al.*, 2009; Ramírez & Gutiérrez-Fonseca, 2014).

Se ratifica, entonces, que los grupos funcionales alimenticios están directamente asociados, no solo con el sustrato rocoso, sino también con la presencia de vegetación de ribera (Longo & Blanco, 2014), lo que fue evidente en este estudio, particularmente en los



tramos donde la cobertura de dosel es plena, como en el caso de PMLM01 y QR2. Estos resultados coinciden con los de **Walteros-Rodríguez & Paiba (2010)** y **Meza-Salazar, et al. (2012)**.

El predominio de órdenes como Diptera, Coleoptera y Ephemeroptera en los diferentes microhábitats también se ha observado en estudios similares como los de **Walteros-Rodríguez & Paiba (2010)**; **Chará-Serna, et al. (2012)**; **Meza-Salazar, et al. (2012)**; **Vásquez & Reinoso (2012)**; **Silviera-Manzotii, et al. (2016)**; **Walteros, et al. (2016)** y **Villada-Bedoya, et al. (2017)**. Estos órdenes suelen estar asociados a sustratos rocosos en zonas de rápidos, donde se crean ambientes heterogéneos en función de la cantidad de materia orgánica gruesa retenida entre las rocas (hojarasca) y la gran riqueza de flora perifítica (**Vásquez & Reinoso, 2012**), lo que incide positivamente en la disponibilidad de alimento y refugio para los macroinvertebrados acuáticos allí presentes.

Durante los cinco años de monitoreo en la microcuenca se pudo evidenciar que dominan los organismos recolectores, seguidos de los fragmentadores, tal como lo describen los trabajos previos de **Bernal, et al. (2006)**, **Chará, et al. (2010)**; **Walteros, et al. (2016)** y **Villada-Bedoya, et al. (2017)**, quienes han realizado estudios en la zona central de los Andes. Resultados similares han sido reportados por **Ríos-Touma, et al. (2009)** pero en quebradas altoandinas con coberturas boscosas donde los recolectores fueron dominantes, y en un porcentaje importante también se reportaron fragmentadores.

Tal como lo evidencio el análisis discriminante, en la estación de referencia se registró, además, una gran abundancia de organismos asociada con la riqueza taxonómica y funcional según los GFA. Se considera que en este tramo se presenta el patrón heterogéneo que determina la comunidad de los macroinvertebrados acuáticos y su capacidad de colonizar otras zonas aguas abajo, lo que coincide con el concepto de río continuo (**Vannote, et al., 1980**). Esto, y el predominio de fragmentadores y colectores, refleja la importancia de dichos organismos en la descomposición de la materia orgánica gruesa y fina, recurso fundamental en las quebradas de cabecera, que suelen tener una densa cobertura boscosa y deberían denominarse ecosistemas heterotróficos (**Chará, et al., 2010**).

En cuanto a la estructura trófica de las estaciones ubicadas en la parte media (PMLM04, PMLM05 y PMLM06), se sugiere analizarla con precaución, pues durante estos cinco años se han evidenciado cambios en los procesos de sucesión de las coberturas vegetales, lo que probablemente esté condicionando la dominancia de los recolectores. Así, es probable que exista mayor disponibilidad de materia orgánica en partículas finas (MOPF) proveniente de las tasas de descomposición en los tramos altos, razón por la cual en estas estaciones es menor la proporción de fragmentadores (**Greathouse & Pringle, 2006**). Además, en la parte media de la quebrada Dalí disminuye la combinación de mesohábitats, por lo que el canal tiende a ser más profundo y rápido, con predominio de pastos e invasión de sus raíces, hábitats estos propicios para la presencia de diversos depredadores. **Ramírez & Hernández-Cruz (2004)** también encontraron que el ensamble de los macroinvertebrados acuáticos dependía de estas variables.

Según **Chará-Serna, et al. (2015)**, las coberturas vegetales ribereñas pueden tener una influencia positiva o negativa en la comunidad y la estructura trófica de los macroinvertebrados acuáticos. En este estudio pareció ser positiva en las estaciones PMLM04 y PMLM05, donde con el transcurso del tiempo ha aumentado la densidad y la heterogeneidad de esta franja de protección, lo que, además de posibles cambios en el flujo hidrológico, estaría generando una menor variabilidad en la morfología del canal y un aumento de hábitats poco profundos. Pero en la estación PMLM06 esta condición parecería tener un efecto negativo, ya que en la franja protectora comienza a haber predominio de pastos de la familia Poaceae. Según **Chará-Serna, et al. (2015)**, la presencia de este pasto conlleva una mayor incidencia de deslizamientos, inestabilidad del canal e invasión de la hierba.

Para concluir, los resultados sugieren la necesidad de ampliar los estudios, con el fin de conocer mejor los patrones y factores determinantes de la diversidad de macroinvertebrados

en microcuencas de cabecera y suministrar información relevante para la planificación sistemática de la conservación y el diseño de reservas de protección de la biodiversidad ribereña (Clarke, *et al.*, 2008).

## Información Suplementaria

**Anexo 1.** Registro de taxones de los macroinvertebrados recolectados en siete estaciones de muestreo en la microcuenca Dalí, cuenca alta del río Otún-Colombia, entre el 2012 y el 2016. Ver el anexo 1 en <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/1085/2759>

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira y USAID (*NAS Sub-Grant Award Letter Agreement No. PGA-2000003584 Sponsor Grant Award Number: AID-OAA-A-11-00012*), por la financiación de los proyectos “Investigación limnológica en humedales, ríos Otún y Consota y afluentes asociados al sistema de acueducto y alcantarillado de Pereira” y *Ecosystem Response of Climate Change in the Mountain Wetlands*. A Yuly Paulina Ramírez por su apoyo incondicional y su valioso aporte al manuscrito, así como a los evaluadores y a la editora.

## Contribución de los autores

JMWR, contribuyó en la recolección, procesamiento de muestras y análisis de datos. JMWR y JMCR contribuyeron a la formulación de la idea y el diseño del estudio, así como a la redacción del manuscrito, y son responsables por igual de la interpretación de los resultados.

## Conflicto de intereses

Los autores manifiestan no tener ningún tipo de conflicto de intereses.

## Referencias

- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M., Prat, N. (2009). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas de Ecuador y Perú. *Limnetica* **28**: 35-64. [http://www.limnetica.com/Limnetica/Limne28/L28a035\\_Calidad\\_rios\\_Andes\\_protocolo\\_CERA.pdf](http://www.limnetica.com/Limnetica/Limne28/L28a035_Calidad_rios_Andes_protocolo_CERA.pdf)
- Bernal, E., García, D., Novoa, M., Pinzón, A. (2006). Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados de la quebrada Paloblanco de la cuenca del río Otún (Risaralda, Colombia). *Acta Biológica Colombiana*. **11** (2): 45-59. Doi: 10.15446/abc
- Bae, M. J., Chun, J. H., Chon, T. S., Park, Y. S. (2016). Spatio-temporal variability in benthic macroinvertebrate communities in headwater streams in South Korea. *Water*. **8** (3): 99. Doi: 10.3390/w8030099
- Clarke, A., Mac Nally, R., Bond, N., Lake, P. S. (2008). Macroinvertebrate diversity in headwater streams: a review. *Freshwater Biology*. **53** (9): 1707-1721. Doi: 10.1111/j.1365-2427.2008.02041.x
- Chará-Serna, A. M., Chará, J.D., Zúñiga, M.D., Pedraza, G. X., Giraldo, L. P. (2010). Trophic classification of aquatic insects in eight sheltered streams of the Colombian coffee ecoregion. *Colombia Universitas Scientiarum*. **15** (1): 27-36. Doi: 10.11144/javeriana.SC15-1.tcoa
- Chará-Serna, A. M., Chará, J.D., Zúñiga, M.C., Pearson, G., Boyero, L. (2012). Diets of leaf litter-associated invertebrates in three Tropical streams. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*. **48** (2): 139-144. Doi: 10.1051/limn/2012013
- Chará-Serna AM, Chará, J.D., Giraldo, L.P., Zúñiga, M.C., Allan, J.D. (2015). Understanding the impacts of agriculture on Andean stream ecosystems of Colombia: a causal analysis using aquatic macroinvertebrates as indicators of biological integrity. *Freshwater Science*. **34** (2): 727-740. Doi: 10.1086/681094
- Domínguez, E., Molineri, C., Nieto, C. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. *Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina. p. 654.

- Flower, W. & De La Rosa, C.** (2010). Ephemeroptera de Costa Rica. Capítulo 4. *Revista de Biología Tropical*, **58** (Supl. 4): 63-93. Disponible en: [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442010000800004&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442010000800004&lng=en&tlng=es)
- Gomi, T., Sidle, R.C., Richardson, J.S.** (2002). Understanding processes and downstream linkages of headwater systems. *BioScience*, **52**: 905-916. Doi: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0905:UPADLOfont>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0905:UPADLOfont>2.0.CO;2)
- Gordon, N. D., McMahon, T. A., Finlayson, B. L., Gippel, C. J., Nathan, R. J.** (2004). *Stream hydrology: an introduction for ecologists*. John Wiley and Sons. Fecha de consulta: 10 de Agosto de 2018. Disponible en: [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/33233418/53366028-Stream-Hydrology-Ecologists.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DStream\\_Hydrology\\_2nd\\_Edition\\_An\\_Introduc.pdf](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/33233418/53366028-Stream-Hydrology-Ecologists.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DStream_Hydrology_2nd_Edition_An_Introduc.pdf)
- Greathouse, E. A. & Pringle, C. M.** (2006). Does the river continuum concept apply on a tropical island? Longitudinal variation in a Puerto Rican stream. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **63** (1): 134-152. Doi: 10.1139/F05-201
- Guisande, C.** (2014). R Wizard software. España: Universidad de Vigo. Fecha de consulta: 4 de Mayo de 2017. Disponible en: <http://www.ipez.es/rwizard>
- Hammer Ø, Harper, D., Ryan P.** (2014). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontol. Electronica*, **4**: 1-9.
- Heino, J., Muotka, T., Mykrä, H., Paavola, R., Hämäläinen, H., Koskenniemi, E.** (2003). Defining macroinvertebrate assemblage types of headwater streams: implications for bioassessment and conservation. *Ecological applications*, **13** (3): 842-852. [https://www.jstor.org/stable/pdf/4134700.pdf?casa\\_token=B6vw0gBLAL4AAAAA:mMLgKU96lBawU72UXs1Gj\\_EInjzwZJYERaGqTrx2j0bZP5kKbQQK7CYZZmlypDS\\_hPl26RvFIXP2pjjNpJRntTyboFE4A6jGwlmQpKxbZCJUKt6GRdTY](https://www.jstor.org/stable/pdf/4134700.pdf?casa_token=B6vw0gBLAL4AAAAA:mMLgKU96lBawU72UXs1Gj_EInjzwZJYERaGqTrx2j0bZP5kKbQQK7CYZZmlypDS_hPl26RvFIXP2pjjNpJRntTyboFE4A6jGwlmQpKxbZCJUKt6GRdTY)
- Jacobsen, D., Cressa, C., Mathooko, J. M., Dudgeon, D.** (2008). Macroinvertebrates: composition, life histories and production. In *Tropical stream ecology* (pp. 65-105). Academic Press. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Claudia\\_Cressa/publication/262009727\\_Macroinvertebrates\\_composition\\_life\\_histories\\_and\\_production/links/55b14a7208ae9289a084cd6e.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Claudia_Cressa/publication/262009727_Macroinvertebrates_composition_life_histories_and_production/links/55b14a7208ae9289a084cd6e.pdf)
- Longo, M. & Blanco, J. F.** (2014). Shredders are abundant and species-rich in tropical continental-island low-order streams: Gorgona Island, Tropical Eastern Pacific, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, **62**: 85-105. [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442014000500006&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442014000500006&lng=en&tlng=en)
- Lorion, C. M. & Kennedy, B. P.** (2009). Relationships between deforestation, riparian forest buffers and benthic macroinvertebrates in Neotropical headwater streams. *Freshwater biology*, **54** (1): 165-180. Doi: 10.1111/j.1365-2427.2008.02092.x
- Malmqvist, B.** (2002). Aquatic invertebrates in riverine landscapes. *Freshwater biology*, **47** (4): 679-694. Doi: 10.1046/j.1365-2427.2002.00895.x
- Manzo, V.** (2005). Key to the South America genera of Elmidae (Insecta: Coleoptera) with distributional data. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, **40** (3): 201-208. Doi: 10.1080/01650520500140619
- Meza-Salazar, A. M., Rubio, J., Gomes, L., Walteros, J.M.** (2012). Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná. *Caldasia*, **34** (2): 443-456. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/39163>
- Moreno, C. E.** (2001). *Manual de métodos para medir la biodiversidad*. M&T-Manuales y Tesis SEA, Vol. 1. Zaragoza, 84 pp.
- Parques Nacionales Naturales de Colombia-PNNC.** (2007). *Plan básico de manejo 2005-2009 Santuario de flora y Fauna Otún Quimbaya*. Dirección territorial de occidente. Medellín. Fecha de consulta: 12 de marzo de 2015. Disponible en: [http://www.carder.gov.co/documentos/2999\\_Plan\\_de\\_manejo\\_SFF\\_Otun\\_Quimbaya.pdf](http://www.carder.gov.co/documentos/2999_Plan_de_manejo_SFF_Otun_Quimbaya.pdf)
- Prat, N., Acosta, R., Villamarín, C., Rieradevall, M.** (2012). 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. (Freshwater Ecology and Management), Departament d'Ecologia, Universitat de Barcelona. Fecha de consulta: 13 agosto de 2014. Disponible en: <http://www.ub.edu/riosandes/index.php/guiachiros.html>
- Ramírez, A. & Gutiérrez-Fonseca, P.E.** (2014). Functional feeding groups of aquatic insect families in Latin America: a critical analysis and review of existing literature. *International Journal of Tropical Biology and Conservation*, **62**: 155-167. [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442014000600011&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442014000600011&lng=en&tlng=es)

- Ramírez, A. & Hernández-Cruz, L. R.** (2004). Aquatic insect assemblages in shrimp-dominated tropical streams, Puerto Rico. *Biotropica*. **36** (2): 259-266. Doi: 10.1111/j.1744-7429.2004.tb00317.x
- Ramírez, A. & Pringle, C. M.** (1998). Structure and production of a benthic insect assemblage in a Neotropical stream. *Journal of the North American Benthological Society*. **17** (4): 443-463. <https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.2307/1468365>
- Ríos-Pulgarín, M. I., Barletta, M., Arango-Jaramillo, M. C., Mancera-Rodríguez, N. J.** (2016). The role of the hydrological cycle on the temporal patterns of macroinvertebrate assemblages in an Andean foothill stream in Colombia. *Journal of Limnology*. **75** (s1). Doi: 10.4081/jlimnol.2016.1394
- Ríos-Touma, B., Encalada, A.C., Prat, N.F.** (2011). Macroinvertebrate Assemblages of an Andean High-Altitude Tropical Stream: The Importance of season and Flow. *International review of hydrobiology*. **96** (6): 667-685. Doi: 10.1002/iroh.201111342
- Ríos-Touma, B., Encalada, A. C., Prat, N.F.** (2009). Leaf Litter Dynamics and Its Use by Invertebrates in a High-Altitude Tropical Andean Stream. *International Review of Hydrobiology*. **94**: 357-371. Doi:10.1002/iroh.200811161
- Rodríguez-Barrios, J., Ospina-Tórres, R., Turizo-Correa, R.** (2011). Grupos funcionales alimentarios de macroinvertebrados acuáticos en el río Gaira, Colombia. *Revista de Biología Tropical*. **59** (4): 1537-1552. [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442011000400009&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442011000400009&lng=en&tlng=es)
- Silveira, M.P., Quiroz, J.F., Boeira, R.C.** (2004). Protocolo de coleta e preparação de amostras de macroinvertebrados bentônico em riachos. Embrapa Meio Ambiente. Comunicado Técnico No. 19. Sao Paulo, Brasil. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/14553/1/comunicado19.pdf>
- Silveira-Manzotti, B. N. D., Manzotti, A. R., Ceneviva-Bastos, M., Casatti, L.** (2016). Estrutura trófica de macroinvertebrados em riachos tropicais de pastagem. *Acta Limnologica Brasiliensia*. **28**: e15. <https://dx.doi.org/10.1590/S2179-975X0316>
- Springer, M.** (2010). Capítulo 7: Trichoptera. In: Springer, M., Ramírez, A. & Hanson, P (Eds.). Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica I. *Revista de Biología Tropical*. **58** (4): 151-198.
- Tomanova, S., Goitia, E., Helešic, J.** (2006). Trophic levels and functional feeding groups of macroinvertebrates in Neotropical streams. *Hydrobiologia*. **556** (1): 251-264. Doi: 10.1007/s10750-005-1255-5
- Torres-Zambrano, N.N. & Torres-Zambrano, D. R.** (2016). Macroinvertebrados acuáticos de la quebrada los Alisos, Firavitoba-Boyacá. *Intropica: Revista del Instituto de Investigaciones Tropicales*. **11** (1): 47-56. Doi: 10.21676/23897864.1860
- 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. Doi: 10.1139/f80-017
- Vásquez-Ramos, J. & Reinoso, G.** (2012). Estructura de la fauna béntica en corrientes de los Andes colombianos. *Revista Colombiana de Entomología*. **38** (2): 351-358. [https://www.researchgate.net/profile/Jesus\\_Vasquez-Ramos/publication/288305859\\_Benthic\\_fauna\\_structure\\_in\\_streams\\_of\\_Colombian\\_Andes/links/5935c2870f7e9beec7e5b6a3/Benthic-fauna-structure-in-streams-of-Colombian-Andes.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jesus_Vasquez-Ramos/publication/288305859_Benthic_fauna_structure_in_streams_of_Colombian_Andes/links/5935c2870f7e9beec7e5b6a3/Benthic-fauna-structure-in-streams-of-Colombian-Andes.pdf)
- Villada-Bedoya, S., Triana-Moreno, L. A., Gómez-Días, L.** (2017). Grupos funcionales alimentarios de insectos acuáticos en quebradas andinas afectadas por agricultura y minería. *Caldasia*. **39** (2): 370-387. Doi: 10.1544 6/Caldasia.v39n2.62800
- Walteros-Rodríguez, J. M. & Paiba-Alzate, J. E.** (2010). Estudio preliminar de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la reserva forestal Torre Cuatro. *Boletín Científico del Museo de Historia Natural*. **14** (1): 137-149. [http://190.15.17.25/boletincientifico/downloads/Boletin14\(1\)\\_10.pdf](http://190.15.17.25/boletincientifico/downloads/Boletin14(1)_10.pdf)
- Walteros Rodríguez, J. M., Castaño Rojas, J. M., Marulanda Gómez, J. H.** (2016). Ensamble de macroinvertebrados acuáticos y estado ecológico de la microcuenca Dalí-Otún, departamento de Risaralda, Colombia. *Hidrobiológica*. **26** (3): 359-371. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-88972016000300359&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972016000300359&lng=en&tlng=en)