

Grupos funcionales alimentarios de insectos acuáticos en quebradas andinas afectadas por agricultura y minería

Functional feeding groups of aquatic insects in Andean streams
affected by agriculture and mining

SEBASTIÁN VILLADA-BEDOYA

Grupos de investigación Bionat y Ecosistemas Tropicales, Universidad de Caldas. Manizales, Colombia, escarasebas@gmail.com

Luz AMPARO TRIANA-MORENO

Departamento de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Grupo de investigación Biodiversidad y Recursos Genéticos, Universidad de Caldas. Manizales, Colombia, lu triana@ucaldas.edu.co

LUCIMAR G.-DÍAS

Departamento de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Grupos de investigación Gebiome y Bionat, Universidad de Caldas. Manizales, Colombia, lucimar.dias@ucaldas.edu.co

RESUMEN

Los insectos acuáticos son indicadores ecológicos de perturbación antrópica y actualmente existe una tendencia a explorar el enfoque funcional como herramienta para la evaluación de la calidad del agua. Los insectos pueden cambiar el modo y tipo de adquisición de alimento de acuerdo con las condiciones del medio. Se evaluó la influencia del impacto agrícola y minero sobre la diversidad, los grupos funcionales alimentarios y gremios tróficos de insectos acuáticos en la cuenca alta del río Chinchiná (Caldas, Colombia). Se eligieron dos localidades una minera y otra agrícola, y en cada una se evaluaron dos quebradas, una de referencia y otra impactada. Mediante red Surber se recolectaron 8239 individuos agrupados en ocho ordenes, 36 familias y 71 taxones ($\Sigma n=100\%$). Se analizó el contenido intestinal de los individuos de los nueve géneros más abundantes y según el porcentaje de material ingerido se clasificaron como: fragmentadores, recolectores, depredadores, raspadores y filtradores. El tipo de alimento no cambió entre zonas de referencia e impactadas, los recolectores fueron dominantes en el área de estudio, seguidos por los fragmentadores. La mayor diversidad estuvo asociada a las quebradas no impactadas. No se evidenciaron cambios en la dieta de los insectos acuáticos, posiblemente debido a la disponibilidad de recursos. La actividad agrícola presentó el efecto negativo más fuerte sobre la diversidad del grupo, lo que puede estar asociado tanto con la extensión de los cultivos hasta las quebradas, con la consecuente pérdida de la vegetación ribereña y con el uso de agroquímicos.

Palabras clave. Invertebrados acuáticos, gremios tróficos, contenido intestinal, ecosistemas lóticos, Andes colombianos.

ABSTRACT

Aquatic insects are ecological indicators of human disturbance and currently there is the tendency to use the functional approach as a potential tool to evaluate water quality. Insects can change the food acquisition mode and the type according to environmental conditions. This study aims to evaluate the influence of the agricultural and mining impacts upon the diversity and dominance of aquatic insect feeding functional groups and trophic guilds found upstream in the Chinchiná River (Caldas, Colombia). Two localities were selected, one with mining and one with agriculture activities, in each locality we evaluated a reference and an impacted creek. A total of 8239 individuals were collected using a Surber net; these are

grouped into eight orders, 36 families and 71 morphospecies ($\hat{C}_n=100\%$). The intestinal content of the specimens whom belong to the nine most abundant genera of aquatic insects was analyzed and classified as: shredders, collectors, predators, scrapers, and filterers. No changes were noted regards to the diet between impacted and reference areas, possibly due to resource availability. Agricultural activity presented the strongest negative effect on the diversity of the group. This result may be linked to the complete loss of riparian vegetation due the immediate proximity of the crops to the studied streams, and to the use of agrochemicals.

Key words. Aquatic invertebrates, trophic guilds, intestinal content, lotic ecosystems, colombian Andes.

INTRODUCCIÓN

En la región andina colombiana la agricultura y la minería son algunas de las principales actividades que impactan los recursos hídricos (DPC 2010). Etter y Wyngaarden (2000) estiman que el 70% de la cobertura boscosa ha sido transformada y que cerca del 80% del área deforestada está ocupada por usos antrópicos del suelo. El Eje Cafetero, es una ecorregión de Colombia con alta riqueza hídrica, y también es una de las regiones con más minería no legalizada, lo que provoca consecuencias negativas sobre la biodiversidad y los recursos naturales (DPC 2010). Por otra parte, la actividad agrícola en general, también afecta la estructura del suelo, los recursos hídricos, la fauna y la flora asociadas (Filser *et al.* 1995, Marín y Feijoo 2005).

En los últimos años las comunidades biológicas han sido utilizadas como indicadoras de las condiciones ambientales, ya que reflejan los efectos de diferentes presiones sobre los ecosistemas naturales a lo largo del tiempo y pueden ser un complemento importante de los análisis fisicoquímicos (Alba-Tercedor 1996, Barbour *et al.* 1999, Zúñiga y Cardona 2009). Los insectos acuáticos son un grupo biológico de interés para el estudio y conservación de la biodiversidad. Han sido ampliamente utilizados como grupo indicador ecológico de la perturbación antrópica debido a que: i) son ampliamente

estudiados, ii) son muy abundantes, iii) su taxonomía está bien definida a nivel de familia, iv) son sensibles ante cambios ambientales y perturbación antrópica, v) su metodología de muestreo es sencilla y vi) presentan amplia distribución geográfica (Merritt *et al.* 2008).

En la última década se ha incorporado el enfoque funcional de los insectos acuáticos en los estudios de evaluación de calidad de agua, para los cuales se ha tenido en cuenta el modo de adquisición de alimento, llamados grupos funcionales alimentarios (GFA) (Cummins 1973, Cummins y Klug 1979, Cummins *et al.* 2005, Tomanova y Tedesco 2007), y el tipo de alimento ingerido o contenido intestinal, llamados gremios tróficos (GT) (Tamaris-Turizo *et al.* 2007, Chará-Serna *et al.* 2012, Guzmán-Soto y Tamaris-Turizo 2014, Longo y Blanco 2014, Ramírez y Gutiérrez-Fonseca 2014a, 2014b, Granados-Martínez *et al.* 2016). Estos autores han propuesto los siguientes grupos: fragmentadores, recolectores, raspadores, filtradores y depredadores. Las relaciones tróficas son importantes en la estructura de las comunidades de insectos acuáticos y en procesos ecológicos como la circulación de nutrientes, las cuales pueden verse alteradas según las condiciones ambientales (Yule 1996, Chará-Serna *et al.* 2010).

Hasta el momento son pocos los trabajos publicados sobre grupos funcionales alimentarios (GFA) y gremios tróficos (GT)

de insectos acuáticos en aguas tropicales. En Colombia, [Chará-Serna et al. \(2012\)](#) clasificaron insectos acuáticos en gremios tróficos en la región cafetera, mientras que [Granados-Martínez et al. \(2016\)](#) y [Guzmán-Soto y Tamarís-Turizo \(2014\)](#) realizaron esta clasificación en ríos del Caribe colombiano. En todos estos estudios se utilizó como base la revisión de los contenidos intestinales, la cual brinda un referente adecuado para la clasificación funcional y dietaria de los insectos presentes en ecosistemas lóticos. La información sobre los grupos funcionales en aguas tropicales, el conocimiento de las interacciones tróficas de invertebrados acuáticos y del impacto de la actividad agrícola y minera en la región andina aún es incipiente. Por lo tanto, este trabajo tiene como objetivos: i) evaluar la influencia del impacto agrícola y minero sobre la diversidad de los insectos acuáticos y ii) proveer información sobre la dominancia de sus grupos funcionales alimentarios y gremios tróficos en las zonas impactadas, y determinar cómo estas actividades podrían afectar el uso del recurso por parte de los insectos. Se espera que en las zonas impactadas tanto la diversidad de insectos acuáticos como de GFA y GT sea mucho menor en comparación con las zonas sin impacto, además, se predice que el aprovechamiento del recurso también cambie dependiendo de las condiciones de cada quebrada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en dos localidades en el municipio de Villamaría, Caldas (Gallinazo: 4°59'22" Norte, 75°25'58" Oeste, y Llanitos: 5°1'42,1" Norte, 75°31'10,9" Oeste), entre 1720 y 2305 m de altitud. De acuerdo con [Holdridge \(1982\)](#), corresponde a bosque húmedo premontano (bmh-PM), con una temperatura que oscila entre 15 y 20 °C.

Cada localidad de muestreo presenta un tipo de uso del suelo, Gallinazo con actividad minera a pequeña escala, por extracción de oro con uso de mercurio (Hg) para la separación del mineral. Llanitos con actividad agrícola por cultivo de hortalizas con manejo tradicional, con uso de agroquímicos (e.g. Glifosato) y remoción de suelo. En cada localidad se seleccionó una zona de referencia o quebrada sin perturbación. Se eligieron dos quebradas en cada localidad, en Gallinazo las quebradas Romerales (referencia) y California (actividad minera), y en Llanitos las quebradas El Establo (referencia) y Don Alonso (actividad agrícola), todas las quebradas hacen parte de la cuenca alta del río Chinchiná.

Zona con actividad minera (localidad Gallinazo)

Quebrada Romerales (E1). Zona de referencia para minería (4°59'22" Norte, 75°25'58" Oeste), ubicada a 2305 m de altitud, presenta un ancho de ~6,28 m y una profundidad de ~17 cm, con un caudal de 0,77 m³/s, predomina el sustrato roca, se presenta acumulación de hojarasca en las orillas y pequeños remansos con sedimento fino. Tiene una franja de vegetación ribereña de ~20 m y un dosel que alcanza los 30 m. La vegetación está dominada por el estrato arbustivo con una altura menor a 5 m y hierbas terrestres ([Bedoya y Orozco 2015](#)).

Quebrada California (E2). Quebrada en zona de extracción aurífera, (04°59'5" Norte, 75°26'35" Oeste), ubicada 2260 m de altitud, con un ancho de ~4,67 m una profundidad de 22 cm, y un caudal de 0,71 m³/s, predomina el sustrato rocoso con grandes bloques, en las orillas hay acumulación de hojarasca y sedimento fino, éste también en pequeños remansos. Una orilla presenta vegetación arbustiva,

mientras en la otra solo hay pastizales. El terreno presenta pendientes pronunciadas con vegetación secundaria. El dosel alcanza 15 m de altura (Bedoya y Orozco 2015).

Zona con actividad agrícola (localidad Llanitos)

Quebrada El Establo (E3). Zona de referencia para agricultura (05°1'42,1" Norte, 75°31'10,9" Oeste), ubicada a 1720 m de altitud, tiene un ancho de ~1,82 m, una profundidad de ~7 cm, y un caudal de 0,09 m³/s, predomina el sustrato rocoso, troncos en descomposición, cobertura de hojarasca superior al 30%, y pozos con acumulación de sedimentos finos. Tiene una franja de vegetación ribereña de ~15 m y presenta árboles de gran porte, con un dosel cercano a los 25 m (Bedoya y Orozco 2015).

Quebrada Don Alonso (E4). Quebrada con actividad agrícola (05°01'50,79" Norte, 75°31'39,59" Oeste), ubicada a 1849 m de altitud, con un ancho de ~1,26 m, una profundidad de ~7 cm y un caudal de ~0,02 m³/s, predomina el sustrato roca y sedimento fino, la hojarasca muy escasa, de *Bambusa* sp. (Poaceae). Existe extracción de guadua y cultivos de hortalizas en el predio inmediato (Bedoya y Orozco 2015).

Diseño de muestreo

Se realizaron seis muestreos entre febrero de 2014 y febrero de 2015. La recolección de los insectos acuáticos se realizó mediante una red Surber (30,5 × 30,5 cm) con ojo de malla de 250 µm, se muestrearon los sustratos más representativos al interior del cauce: sedimento fino o arena (0,006 a 2 mm), roca o grava (32 a 63 mm) (Wentworth 1922) y hojarasca, con tres repeticiones por cada tipo de sustrato. Los insectos recolectados se almacenaron y fijaron en alcohol al 96% para su posterior identificación hasta el menor

nivel taxonómico posible, utilizando las claves de Domínguez *et al.* (2006), Merritt *et al.* (2008) y Domínguez y Fernández (2009). La identificación del material recolectado se llevó a cabo en el laboratorio de Colecciones Biológicas de la Universidad de Caldas y los individuos fueron depositados en la Colección Entomológica del programa de Biología de la Universidad de Caldas – CEBUC (Registro Humboldt: No 188).

Grupos funcionales alimentarios (GFA) y gremios tróficos (GT)

A los insectos acuáticos recolectados se les asignó un grupo funcional de acuerdo con la información morfológica y comportamental reportada en la literatura (Cummins 1973, Cummins y Klug 1979, Cummins *et al.* 2005, Tomanova *et al.* 2006, Merritt *et al.* 2008, Ramirez y Gutiérrez-Fonseca 2014b) y se emplearon las siguientes categorías: i) Fragmentadores que se alimentan de materia orgánica particulada gruesa – MOPG, ii) Recolectores que se alimentan de materia orgánica particulada fina – MOPF, iii) Raspadores que se alimentan de algas - ALG, iv) Filtradores de detritos - DET y v) Depredadores de tejido animal – TA. Adicionalmente, se describieron las dietas con base en el porcentaje del contenido intestinal (Muñoz *et al.* 2009) para predefinir los gremios tróficos (GT) de los nueve géneros más abundantes (*Anchytarsus*, *Cricotopus*, *Simulium*, *Tipula*, *Andesiops*, *Camelobaetidiu*, *Leptohyphes*, *Anacroneuria* y *Smicridea*) teniendo en cuenta las siguientes categorías: i) Fragmentadores con contenido de MOPG ≥ 35% (tamaño de las partículas 50 µm- 1 mm), ii) Recolectores con contenido de MOPF ≥ 65% (tamaño de las partículas < 50 µm) (Cheshire *et al.* 2005), iii) Raspadores con contenido de ALG ≥ 35%, iv) Filtradores con contenido de DET > 50% y v) Depredadores con contenido de TA ≥ 35%.

Para estimar la composición proporcional de la dieta ingerida por los insectos acuáticos se utilizó el programa CPCe 3.4 (Kohler y Gill 2006). Se evaluaron los taxones más abundantes en cada localidad, para cada género se realizaron de cinco a diez montajes de contenido intestinal con el fin de evaluar si existía diferencia en el tipo de alimento ingerido entre zonas de referencia y zonas con impacto. No se realizaron comparaciones entre localidades de estudio (zona agrícola y minera) y solo se usaron los taxones más abundantes en cada localidad debido a que la gran mayoría de estos no superaban los cinco individuos en cada estación, lo cual no permitió tener el n mínimo para hacer los montajes. En total se realizaron 305 montajes de contenido intestinal, donde se analizaron 20 campos elegidos al azar por medio del software (CPCe 3.4), el cual calcula posteriormente los porcentajes de cada uno de los ítems alimenticios (HON = hongos, DET = detritos, MOPG = materia orgánica particulada gruesa, ALG = algas, T.A = tejido animal, MOPF = materia orgánica particulada fina y M.M = material mineral).

Análisis de datos

Se determinó la representatividad del muestreo ($\hat{C}_n$) en cada estación, siguiendo la metodología propuesta por Chao y Jost (2012). La diversidad de los insectos acuáticos se comparó por medio de la diversidad de orden q (qD) basada en los números de Hill (Chao *et al.* 2014), la cual tiene en cuenta el número efectivo de especies. En este caso se usaron tres valores, $q = 0$ (riqueza de especies), $q = 1$ (diversidad de Shannon) y $q = 2$ (diversidad de Simpson) (Moreno *et al.* 2011). Para la estimación y comparación de qD se usó el mismo nivel de cobertura de muestreo entre comunidades (Chao *et al.* 2014), el cálculo de la diversidad

se realizó usando 100 aleatorizaciones con intervalos de confianza del 95%. Los datos de riqueza y abundancia se evaluaron a escala espacial, entre estaciones de muestreo, por medio de gráficos de cajas y dispersión (Cumming *et al.* 2007). La exploración de los datos se realizó con el programa R 3.3.0 (R Core Team 2015).

Para determinar la dependencia de los grupos funcionales y los gremios tróficos con la estación de muestreo, que representa el tipo de impacto, se realizó una prueba de chi-cuadrado (X^2) construyendo tablas de contingencia de 2×2 (Zar 2010), con el paquete estadístico StatGraphics V16.2.04 (StatPoint Technologies Inc. 2013). Usando el porcentaje promedio de cada ítem alimenticio encontrado en el contenido intestinal de los géneros seleccionados, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para describir la relación entre los porcentajes de las dietas y los GFA asignados. Los datos fueron transformados por medio de la raíz cuadrada del arcoseno. Además, se construyó un conglomerado usando distancias Euclidianas para agrupar los insectos acuáticos en gremios tróficos según la similitud de sus contenidos intestinales. Ambos análisis se realizaron con el programa estadístico PAST 3.03 usando 1000 aleatorizaciones con intervalos de confianza del 95% (Hammer *et al.* 2014).

RESULTADOS

Abundancia y diversidad de insectos acuáticos

Se registraron 8239 individuos agrupados en ocho ordenes, 36 familias y 71 taxones, donde los géneros *Baetodes*, *Cricotopus* y *Simulium* fueron los más abundantes, constituyendo el 54,3% de total muestreado (Anexo 1). La estación con mayor riqueza de géneros fue la E3 (referencia agricultura)

(referencia minería) con 48 géneros (Anexo 1). En todos los casos se alcanzó ~100% de representatividad del muestreo (Anexo 1). Con esta representatividad, la diversidad (qD) se comparó de forma directa entre las estaciones de muestreo, en ambas localidades la riqueza de especies (0D) presentó los valores más altos en las zonas de referencia, pero solamente se encontraron diferencias en la localidad Llanitos (estaciones E3 y E4), donde la zona de referencia agricultura es casi tres veces más rica en taxones que la zona impactada por agricultura (Anexo 1).

En el caso de 1D y 2D , la diversidad siempre tendió a ser mayor en las zonas de referencia de ambas localidades (Anexo 1). Evaluando la diversidad *per se* (1D), se encontró que la estación E1 es más diversa que la estación E2 (11,25 y 8,02 respectivamente) y la estación E3 es casi seis veces más diversa que la estación E4 (13,89 y 2,41 respectivamente), claramente hay una disminución en términos de diversidad desde las estaciones de referencia hacia las estaciones con impacto agrícola y minero (Anexo 1). Los gráficos de

cajas y dispersión, muestran que en términos de abundancia no existen diferencias entre las estaciones de muestreo (Fig. 1a). En términos de riqueza existen diferencias entre la estación E4, con valores muy bajos, y las demás estaciones (Fig. 1b).

Grupos funcionales alimentarios (GFA)

Los recolectores fueron el grupo dominante, representado por el 66,2% (N = 6805, S = 35), seguido de los fragmentadores con un 25,3% (N = 735, S = 13) (Fig. 2, a y b). Los depredadores representaron el 7,1% (N = 588, S = 17) y el grupo de los raspadores presentó la menor cantidad de GFA con el 1,3% (N = 111, S = 6), donde los tres taxones más representativos fueron: *Limonicola* (Diptera: Blephariceridae), *Cylloepus* y *Neoelmis* (Coleoptera: Elmidae). El porcentaje de individuos de GFA varió según la estación ($X^2_{0,05;9} = 962,29$; $p < 0,01$), mientras que el número de taxones no presentó diferencias significativas entre estaciones ($X^2_{0,05;9} = 4,49$; $p = 0,87$).

Gremios tróficos (GT)

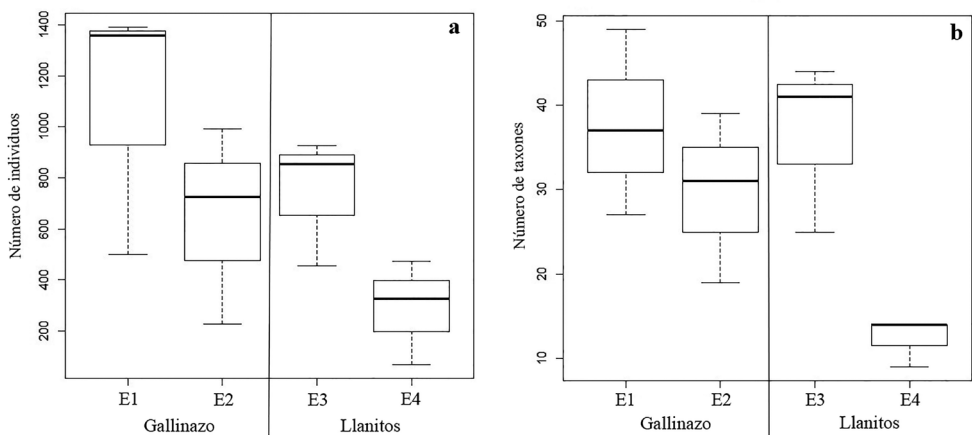


Figura 1. Gráfico de cajas y dispersión para **a.** abundancia y **b.** riqueza de insectos acuáticos entre estaciones de muestreo. E1 referencia minería, E2 minería, E3 referencia agricultura, E4 actividad agrícola.

El análisis estableció que la dieta de los insectos acuáticos evaluados no cambia entre las zonas referencia y las zonas impactadas. El género *Cricotopus* (Diptera: Chironomidae) fue clasificado como recolector, al igual que *Andesiops* (Ephemeroptera: Baetidae) (Tabla 1, Fig. 3). La heterogeneidad de los ítems alimenticios ingeridos (MOPF, M.M y ALG) por los géneros *Camelobaetidius* y *Leptohyphes* no permitió llegar a un consenso acerca de su gremio trófico, debido a que no se ajustaron a ninguna de las categorías establecidas en este trabajo (Tabla 1), aunque aparentemente tienen una gran afinidad con los recolectores, clasificación de la cual no se tenían datos

previos. Es importante destacar que al realizar la prueba chi-cuadrado para los géneros evaluados, se observa un patrón consistente con lo encontrado a nivel de los GFA (Fig. 2, c y d), donde la abundancia es dependiente de la estación ($\chi^2_{0,05;6} = 1240,01$; $p \ll 0,01$), pero la riqueza es totalmente independiente ($\chi^2_{0,05;6} = 1,22$; $p = 0,97$).

El análisis de componentes principales (ACP) se realizó con las variables presentadas en la Tabla 1, utilizando únicamente los nueve géneros más abundantes, a los cuales se les examinó su contenido intestinal. La MOPF fue el ítem alimenticio que se encontró en mayor proporción (42%), seguido de la

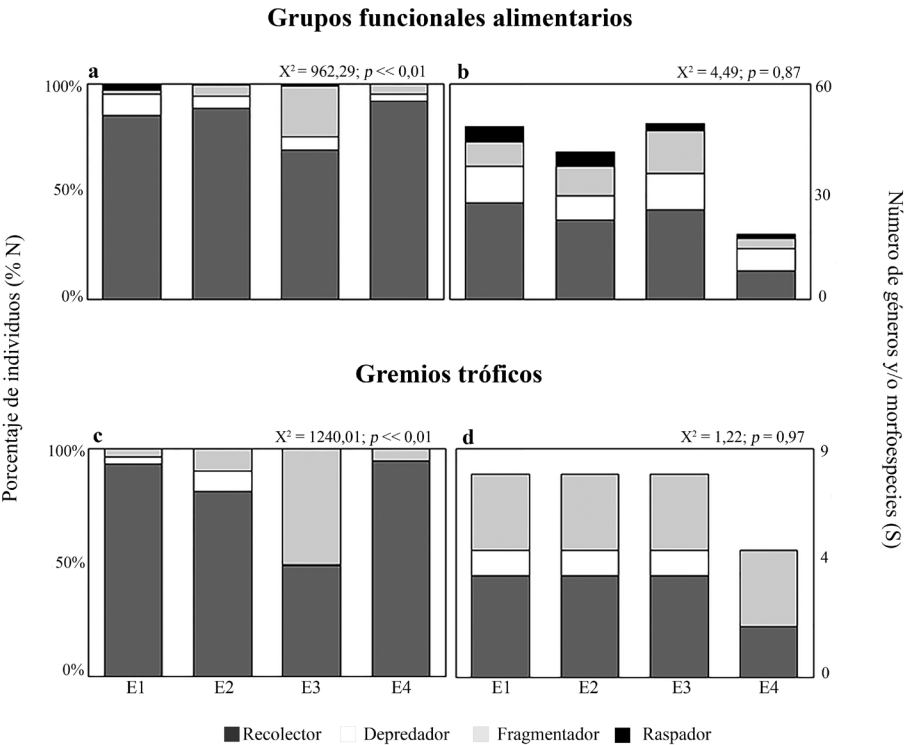


Figura 2. Grupos funcionales alimentarios (GFA) y gremios tróficos (GT) de insectos acuáticos en quebradas con impacto agrícola y minero. Se presenta el porcentaje de individuos (a y c) y número de taxones (b y d) por GFA y GT. χ^2 = valores de la prueba chi-cuadrado para cada conjunto de datos. Ver equivalencias de los códigos de las estaciones en figura 1.

Tabla 1. Composición de la dieta (%), gremios tróficos (GT) y grupos funcionales alimentarios (GFA) de los nueve géneros analizados. Cod = código, N = número de individuos analizados, M.M = material mineral, MOPF = materia orgánica particulada fina, T.A = tejido animal, ALG = microalgas, MOPG = materia orgánica particulada gruesa, DET = detritos, HON = hongos, S.I.= sin información, N.C = no hay consenso.

Orden	Familia	Taxón	Cod	N	Composición de la dieta (%)								Gremio trófico (GT)	Grupo Funcional alimentario (GFA)		
					M.M	MOPF	T.A	ALG	MOPG	DET	HON	Este trabajo		Según Chará-Serna <i>et al.</i> 2012	Según Merritt <i>et al.</i> 2008	Según Tomanova <i>et al.</i> 2006
Coleoptera	Ptilodactylidae	<i>Anchytarsus</i>	Anc	18	3,3	12,1	0,0	0,0	75,1	9,6	0,0	Fragmentador	Fragmen- tador	Frag- mentador	S.I	
Diptera	Chironomidae	<i>Cricotopus</i>	Cri	32	8,0	63,9	0,0	0,0	3,2	24,9	0,0	Recolector	Fragmen- tador	Colector	Colector/ Recolector	
	Simuliidae	<i>Simulium</i>	Sim	35	4,3	70,0	0,4	0,0	1,3	23,9	0,3	Recolector	Recolector	Filtrador/ Colector	Colector/ Filtrador	
	Tipulidae	<i>Tipula</i>	Tip	20	6,0	23,8	0,0	0,0	64,5	5,8	0,0	Fragmentador	Fragmen- tador	Frag- mentador	Depredador	
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Andesiops</i>	And	20	18,5	71,3	0,0	0,3	3,8	6,0	0,3	Recolector	S.I	S.I	Colector/ Recolector	
		<i>Camelobaetis</i>	Cam	20	25,3	47,0	0,0	1,5	1,3	25,0	0,0	N.C	S.I	S.I	Colector- Raspador	
Plecoptera	Leptohyphidae	<i>Leptohyphes</i>	Lep	20	20,3	42,0	0,0	1,3	4,5	32,0	0,0	N.C	Recolector	S.I	Colector/ Recolector	
	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	Ana	20	5,8	16,3	42,3	0,0	5,5	29,8	0,5	Depredador	Depreda- dor	Depreda- dor	Depredador	
Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Smicridea</i>	Smi	20	11,8	26,0	0,3	0,0	48,3	13,0	0,0	Fragmentador	Fragmen- tador	Frag- mentador	Filtrador	

MOPG con 23%. La exploración gráfica de los datos mediante el ACP permitió identificar dos componentes: el componente uno está determinado principalmente por la MOPG y se encuentra asociada a los géneros de hábitos fragmentadores como *Tipula* (Fig. 4) y la MOPF, la cual aumenta a lo largo del eje y se asocia a los recolectores, como *Cricotopus* y *Andesiops*. Estos resultados indican que son típicamente recolectores generalistas, tanto la MOPG y la MOPF son los que mejor explican la discriminación de los géneros. Por su parte, el componente dos está determinado principalmente por el T.A, el cual se incrementa a lo largo del eje y se asocia principalmente al gremio trófico depredador

exhibido por el género *Anacroneuria* (Fig. 4), reportado con el mismo comportamiento por Chará-Serna *et al.* (2012) en el centro de Colombia y Tamaris-Turizo *et al.* (2007) en la Sierra Nevada de Santa Marta (norte de Colombia). Para el caso particular del ítem DET, se encontró asociado a organismos de hábitos recolectores como *Simulium*.

El análisis de conglomerados agrupó los géneros en tres grupos teniendo en cuenta los porcentajes promedio de los ítems alimenticios de cada gremio trófico (Fig. 5). El primer grupo está conformado por los géneros *Anchytarsus*, *Tipula* y *Smicridea*, que presentan una alta preferencia por

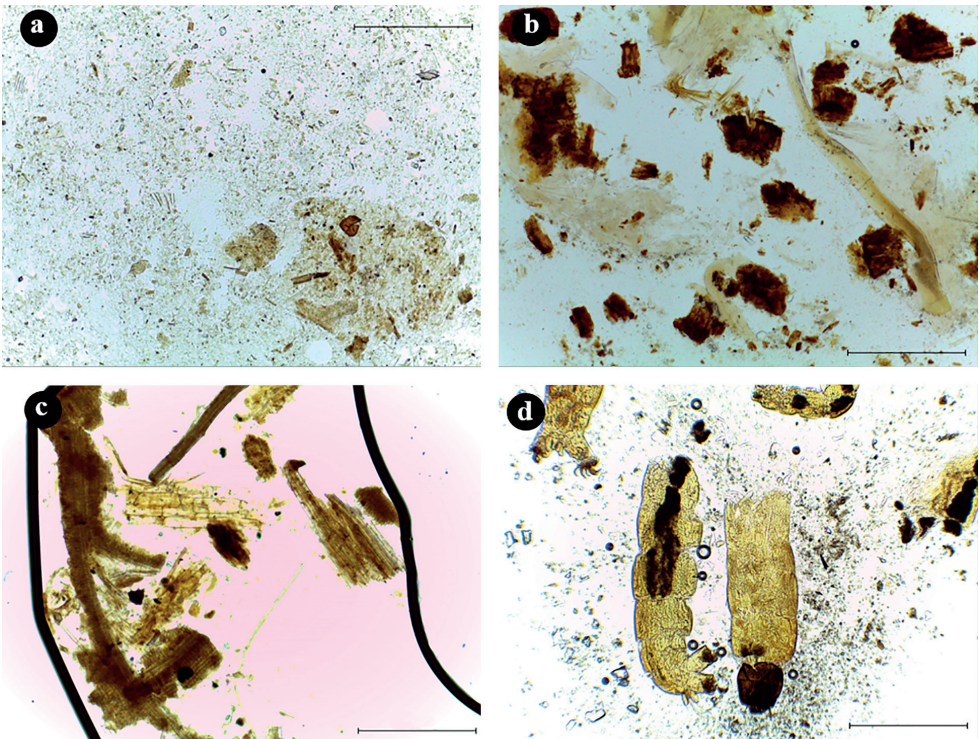


Figura 3. Principales ítems alimenticios ingeridos por los insectos acuáticos de las zonas muestreadas. **a.** Materia orgánica particulada fina (MOPF) en intestino de *Andesiops* (100x), **b.** Materia orgánica particulada gruesa (MOPG) en intestino de *Anchytarsus* (100x), **c.** Materia orgánica particulada gruesa (MOPG) en intestino de *Tipula* (100x), **d.** Tejido animal (T.A) en intestino de *Anacroneuria* (40x). Escala = 0,5mm.

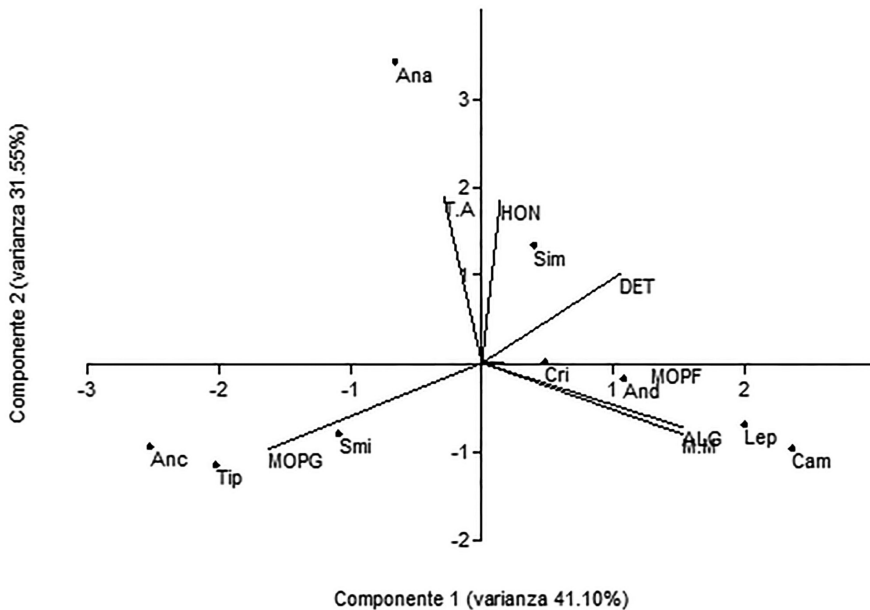


Figura 4. Análisis de componentes principales (ACP) para la composición de la dieta de los nueve géneros más abundantes en quebradas con impacto agrícola y minero. Varianza explicada acumulada = 72,9 % de los dos primeros componentes, véanse códigos de los ítems alimenticios y de los géneros en la Tabla 1.

la MOPG (fragmentadores), donde la proporción de este ítem alimenticio en su contenido intestinal fue ~62,6% (Fig. 5), el segundo grupo está conformado por los géneros *Cricotopus*, *Simulium* y *Andesiops*, que tienen una gran preferencia por la MOPF (recolectores), cuya proporción en el contenido intestinal fue ~68%, aunque en este grupo también aparecen agrupados los géneros *Camelobaetidiu* y *Leptohyphes* para los cuales no hubo un consenso en la clasificación de su dieta (Fig. 5). El tercer grupo está conformado por el género *Anacroneuria*, el único que exhibe un hábito depredador y presenta una proporción de T.A ~42% (Fig. 5).

DISCUSIÓN

El estudio apunta a que la actividad agrícola afecta negativamente la diversidad de insectos acuáticos, en oposición a

la actividad minera, que no presentó diferencias significativas con respecto a la zona de referencia. Estos resultados concuerdan con estudios previos que reiteran los efectos adversos de la agricultura sobre los ecosistemas y la diversidad de organismos acuáticos (Maloney y Weller 2011, Piggott *et al.* 2012, Chará-Serna *et al.* 2015). Adicionalmente, este trabajo corrobora la teoría de que las comunidades neotropicales de insectos acuáticos son sensibles a la pérdida de la vegetación ribereña (Filser *et al.* 1995, Subramanian *et al.* 2005, Alonso 2006, Chará-Serna *et al.* 2015), pues la estación menos diversa en el estudio correspondió a la más pobre en vegetación. En concordancia con lo anterior, Meza-S *et al.* (2012) encontraron que la riqueza y la abundancia de insectos acuáticos en la cuenca alta del río Chinchiná fueron mayores en los sitios provistos de

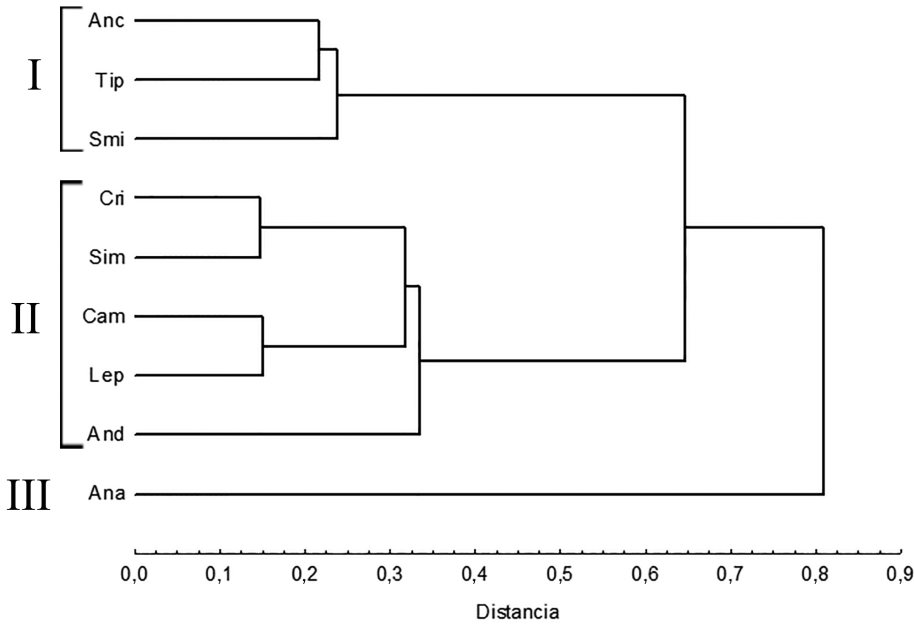


Figura 5. Análisis de conglomerados para los gremios tróficos de los nueve géneros de insectos acuáticos evaluados basado en los resultados de la composición de la dieta del ACP. Ver códigos de los géneros en la Tabla 1. **I** = Fragmentadores, **II** = Recolectores y **III** = Depredadores.

vegetación ribereña, lo que demuestra su importancia.

En la zona impactada por actividad minera los resultados difieren de lo reportado por otros autores, quienes han demostrado en condiciones de laboratorio los efectos tóxicos del mercurio sobre poblaciones de cangrejos (Andres *et al.* 2002) y renacuajos (Muñoz-Escobar y Palacio-Baena 2010). Nuestros resultados pueden explicarse por la menor magnitud de la explotación minera en la zona de estudio, la cual se hace a pequeña escala, sin maquinaria pesada y el uso de mercurio no es constante, debido a que la mina presenta épocas de inactividad a lo largo del año (Bañol, com. pers.). También puede haber un efecto de la distancia entre la zona de explotación y la zona de muestreo, debido a que, por razones de seguridad, éstas se encontraban aproximadamente a 2 km de la mina, y considerando que los ríos son sistemas dinámicos, probablemente

las sustancias tóxicas derivadas de dicha actividad no tienen flujo continuo y se depositan rápidamente en el sedimento (Ferreira da Silva *et al.* 2009). Además, se ha reportado que el mercurio se volatiliza muy rápido en los ecosistemas acuáticos naturales (Molina *et al.* 2010). Adicionalmente, es importante resaltar que la zona impactada por minería en este trabajo poseía una franja de vegetación ribereña que posiblemente amortiguó el impacto, mediante la absorción de dicho elemento químico por las raíces de las plantas (Jaramillo-F *et al.* 2015).

La dominancia de recolectores en este estudio concuerda con otros reportes en ecosistemas tropicales (Moretti 2005, Rivera *et al.* 2009). En zonas cafeteras del centro de Colombia se han encontrado resultados similares, donde los recolectores y los fragmentadores han sido los más representativos, un patrón aparentemente constante en las quebradas andinas colombianas (Chará-Serna *et al.*

2010, 2012, [Meza-S *et al.* 2012](#)). [Rivera \(2004\)](#) explica que la alta representatividad de estos GFA se debe al aporte de materia orgánica alóctona que reciben estos tipos de ecosistemas acuáticos, lo cual se convierte en un recurso alimenticio de alta disponibilidad.

La mayoría de los géneros evaluados coinciden con la clasificación de GT encontrada por [Chará-Serna *et al.* \(2012\)](#), excepto *Cricotopus*, reportado en dicho estudio como fragmentador, y en el nuestro como recolector, lo cual concuerda con lo registrado por [Tomanova *et al.* \(2006\)](#) y [Merritt *et al.* \(2008\)](#). Estos resultados disímiles evidencian la plasticidad en los hábitos alimenticios de insectos acuáticos de quebradas tropicales, así como plantean [Chará-Serna *et al.* \(2010\)](#). Según el análisis, el tipo de dieta ingerida por los insectos acuáticos no varió entre las quebradas de referencia e impactadas, lo que sugiere que el recurso alimenticio para estos GT siempre estuvo disponible a pesar de la perturbación antrópica.

A pesar del desconocimiento o incertidumbre con respecto a la clasificación trófica de varios grupos que parecen ser generalistas, este trabajo presenta un referente para quebradas andinas impactadas por agricultura y minería. Entender las relaciones tróficas de los insectos acuáticos implica realizar un análisis exhaustivo de las dietas de todos los taxones presentes en cada quebrada para establecer las posibles relaciones entre hábitats con perturbaciones antrópicas y hábitats conservados ([Cheshire *et al.* 2005](#)). [Covich \(1988\)](#) sugiere que las redes tróficas en las quebradas neotropicales se encuentran dominadas por consumidores generalistas, en lo cual se acoplan *Camelobaetidius* y *Leptohyphes*, ya que para estos géneros no se pudo definir un gremio trófico, al encontrarse gran cantidad

de MOPF, material mineral y detritos en su contenido intestinal, por lo cual sugerimos que se tratan de consumidores generalistas, es decir, consumen el recurso más inmediato al interior del ecosistema.

[Granados-Martínez *et al.* \(2016\)](#) registraron el hábito detritívoro para *Camelobaetidius*, lo cual concuerda en parte con lo encontrado en este estudio. Adicionalmente, en este trabajo se categoriza por primera vez el GT de *Andesiops* (Ephemeroptera) como recolector, dato que aporta al conocimiento de los gremios tróficos de insectos acuáticos de la región andina. Este resultado es consistente con lo encontrado por [Molina \(2004\)](#) en ríos de Bolivia, quien afirma que la dieta de *Andesiops* está constituida principalmente por MOPF. En resumen, la clasificación del GT de los géneros *Camelobaetidius* y *Leptohyphes* concuerda con lo reportado por varios autores y brinda indicios acerca de sus preferencias alimenticias, su clasificación trófica y funcional.

Probablemente la flexibilidad en la dieta está influyendo en la capacidad de supervivencia y facilitando la colonización espacial de los insectos acuáticos ([Tomanova *et al.* 2006](#)), lo cual les permite estar presentes en las quebradas impactadas y aprovechar la variedad de recursos del ecosistema. Aunque en este trabajo no hubo una clara evidencia de plasticidad en la dieta de los géneros evaluados, los resultados indican que no existe dependencia con el tipo de impacto y que cada ecosistema presenta una composición que hace que no exista una variación significativa en términos de número de taxones, lo cual permite que cada ecosistema siga sustentando una gran diversidad, excepto para la zona impactada por agricultura, la cual presenta indiscutiblemente una menor diversidad de insectos acuáticos con respecto a las

zonas de referencia y la zona impactada por minería.

En resumen, en este trabajo no se evidencia un cambio en el tipo de dieta consumida por los insectos acuáticos al comparar quebradas impactadas por agricultura y minería con su respectiva zona de referencia. Este resultado indica que, aunque los organismos se encuentren sometidos a diferentes tipos de impactos antrópicos y en cuencas diferentes, su GT no cambia. Para futuras investigaciones se recomienda evaluar el contenido intestinal de todos los taxones encontrados, lo cual podría generar mayor información que permita llegar a un consenso en la clasificación trófica de los insectos acuáticos en ecosistemas andinos tropicales. Sin embargo, este trabajo aporta información importante acerca de los hábitos alimenticios de los insectos acuáticos en quebradas impactadas por minería y agricultura.

Es importante destacar que la evaluación de la diversidad de orden q (^qD) propuesta por [Chao *et al.* \(2014\)](#) arrojó resultados muy interesantes en contraste con la evaluación de los GFA y GT, los cuales no presentaron resultados contundentes sobre las diferencias entre zonas conservadas e impactadas. Considerando lo anterior, se recomienda utilizar esta novedosa propuesta de análisis de diversidad en los futuros estudios de biomonitorio, toda vez que la evaluación de la diversidad mediante el número efectivo de taxones puede propiciar evaluaciones más precisas sobre la calidad de los ecosistemas.

PARTICIPACIÓN DE AUTORES

SVB concepción, toma de datos, diseño, análisis de datos y escritura del documento. LATM concepción, análisis de datos y escritura del documento. LGD toma de datos, diseño y escritura del documento.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto “Evaluación del impacto minero, agrícola y ganadero, mediante respuestas ecológicas y genéticas de macroinvertebrados acuáticos” (Código 1127-569-34668) financiado por Colciencias. Al equipo de trabajo del Laboratorio de Colecciones Biológicas de la Universidad de Caldas. A Aguas de Manizales S.A. E.S.P. por permitirnos trabajar en los predios de la quebrada Romerales. A Carlos A. Cultid-Medina por su asesoría y a todas las personas que contribuyeron en la ejecución de este proyecto. A los grupos de investigación: en Biodiversidad y Recursos Naturales (Bionat), Ecosistemas Tropicales y Genética, Biodiversidad y Manejo de Ecosistemas (Gebioime).

LITERATURA CITADA

- Alba-Tercedor J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA). Almería 2:203–213.
- Alonso A. 2006. Valoración del efecto de la degradación ambiental sobre los macroinvertebrados bentónicos en la cabecera del río Henares. *Ecosistemas* 15(2):1–5.
- Andres S, Laporte JM, Mason RP. 2002. Mercury accumulation and flux across the gills and the intestine of the blue crab (*Callinectes sapidus*). *Aquat. Toxicol.* 56(4):303–320. doi: 10.1016/S0166-445X(01)00228-4.
- Barbour MT, Gerritsen J, Snyder BD, Strubling JB. 1999. Rapid Bioassessment Protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish. Second Edition. Washington: US Environmental Protection Agency.
- Bedoya OA, Orozco JA. 2015. Estructura y composición florística de parches de bosques asociados a ganadería, agricultura y minería

- en la cuenca del río Chinchiná. [Tesis] [Manizales]: Universidad de Caldas.
- Chao A, Jost L. 2012. Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology* 93(12):2533–2547. doi: 10.1890/11-1952.1.
- Chao A, Gotelli NJ, HSieh TC, Sander EL, Ma KH, Colwell RK, Ellison AM. 2014. Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecol. Monogr.* 84(1):45–67. doi: 10.1890/13-0133.1.
- Chará-Serna AM, Chará JD, Zúñiga MC, Pedraza GX, Giraldo LP. 2010. Clasificación trófica de insectos acuáticos en ocho quebradas protegidas de la ecorregión cafetera colombiana. *Univ. Sci.* 15(1):27–36.
- Chará-Serna AM, Chará JD, Zúñiga MC, Pearson RG, Boyero L. 2012. Diets of leaf-litter-associated insects in three Colombian streams. *Ann. Limnol. - Int. J. Lim.* 48:139–144. doi: 10.1051/limn/2012013.
- Chará-Serna AM, Chará J, Giraldo LP, Zúñiga MC, Allan JD. 2015. Understanding the impacts of agriculture on Andean stream ecosystems of Colombia: a causal analysis using aquatic macroinvertebrates as indicators of biological integrity. *Freshw. Sci.* 34(2):727–740. doi: 10.1086/681094.
- Cheshire K, Boyero L, Pearson RG. 2005. Food webs in tropical Australian streams: shredders are not scarce. *Freshw. Biol.* 50(5):748–769. doi: 10.1111/j.1365-2427.2005.01355.x.
- Covich AP. 1988. Geographical and historical comparisons of Neotropical streams: biotic diversity and detrital processing in highly variable habitats. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 7(4):361–386. doi: 10.2307/1467297.
- Cumming G, Fidler F, Vaux DL. 2007. Error bars in experimental biology. *J. Cell Biol.* 177(1):7–11. doi: 10.1083/jcb.200611141.
- Cummins KW. 1973. Trophic relations of aquatic insects. *Annu. Rev. Entomol.* 18:183–206.
- Cummins KW, Klug MJ. 1979. Feeding ecology of stream invertebrates. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 10:147–172. doi: 10.1146/annurev.es.10.110179.001051.
- Cummins KW, Merritt RW, Andrade P. 2005. The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in southeast Brazil. *Stud. Neotrop. Fauna Environ.* 40(1):71–90. doi: 10.1080/01650520400025720.
- [DPC] Defensoría Del Pueblo Colombia. 2010. Minería de hecho en Colombia. Bogotá: Defensoría Delegada para los Derechos Colectivos y del Ambiente.
- Domínguez E, Molineri C, Pescador M, Hubbard MD, Nieto C. 2006. Aquatic Biodiversity in Latin America. v.2: Ephemeroptera of South America. Sofia-Moscú: Pensoft.
- Domínguez E, Fernández H. 2009. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología. Tucumán: Fundación Miguel Lillo.
- Etter A, Van Wyngaarden W. 2000. Patterns of landscape transformation in Colombia, with emphasis in the Andean Region. *Ambio.* 29 (7):432–439. doi: 10.1579/0044-7447-29.7.432.
- Ferreira da Silva E, Almeida SF, Nunes ML, Luís AT, Borg F, Hedlund M, Marques de Sá C, Patinha C, Teixeira P. 2009. Heavy metal pollution downstream the abandoned Coval da Mó mine (Portugal) and associated effects on epilithic diatom communities. *Sci. Total Environ.* 407(21):5620–5636. doi: 10.1016/j.scitotenv.2009.06.047.
- Filser J, Fromm H, Nagel RF, Winter, K. 1995. Effects of previous intensive agriculture management of microorganism and the biodiversity of soil fauna. *Plant. Soil.* 170(1):123–129. doi: 10.1007/BF02183060.
- Granados-Martínez C, Zúñiga-Céspedes B, Acuña-Vargas J. 2016. Diets and trophic guilds of aquatic insects in Molino River, La Guajira, Colombia. *J. Limnol.* 75(1s):144–150. doi: 10.4081/jlimnol.2016.1396.
- Guzmán-Soto CJ, Tamaris-Turizo CE. 2014. Hábitos alimentarios de individuos inmaduros de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera en la parte media de un río tropical de montaña. *Rev. Biol. Trop.* 62(2):169–178.
- Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. 2014. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontol. Electronica* 4:1–9.
- Holdridge LR. 1982. Ecología basada en Zonas de Vida. Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA.
- Jaramillo-F MC, Zapata-O LF, Marulanda-L T. 2015. Fitorremediación de mercurio a partir de *Elodea* sp. *Ing. USBMed.* 6(2):1–4.
- Kohler KE, Gill SM. 2006. Coral point count with Excel extensions (CPCe): A visual basic program for the determination of coral and

- substrate coverage using random point count methodology. *Comput. Geosci.* 32(9):1259–1269. doi: 10.1016/j.cageo.2005.11.009.
- Longo M, Blanco JF. 2014. Shredders are abundant and species-rich in tropical continental-island low-order streams: Gorgona Island, Tropical Eastern Pacific, Colombia. *Rev. Biol. Trop.* 62(1):85–105.
- Maloney KO, Weller DE. 2011. Anthropogenic disturbance and streams: land use and land-use change affect stream ecosystems via multiple pathways. *Freshwater Biol.* 56:611–626. doi: 10.1111/j.1365-2427.2010.02522.x.
- Marín EP, Feijoo A. 2005. Efecto de la labranza sobre macroinvertebrados del suelo en vertisoles de un área de Colombia. *Terra Latinoam.* 25(3):297–310.
- Merritt RW, Cummins KW, Berg, MB. 2008. *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. Fourth edition. Dubuque: Kendall / Hunt Publishing.
- Meza-S AM, Rubio-M J, G-Dias L, M-Walteros J. 2012. Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná. *Caldasia* 34(2):443–456.
- Molina CI. 2004. Estudios de los rasgos biológicos y ecológicos en poblaciones de los órdenes: Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (clase Insecta), en un río al pie del glaciar Mururata. [Tesis]. [La Paz]: Universidad Mayor de San Andrés.
- Molina CI, Gibon FM, Sánchez Y, Achá D, Benefice E, Guimarães, JRD. 2010. Implicancia ambiental del mercurio en ecosistemas acuáticos de la Amazonia: situación en Bolivia. *Redesma* 4(2):1–17.
- Moreno CE, Barragán F, Pineda E, Pavón NP. 2011. Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Rev. Mex. Biodivers.* 82(4):1249–1261.
- Moretti MS. 2005. Composição de detritos foliares e sua colonização por invertebrados aquáticos em dois córregos na Cadeia do Espinhaço (MG). [Tesis]. [Belo Horizonte]: Universidade Federal de Minas Gerais.
- Muñoz I, Romani AM, Rodrigues-Capítulo A, González-E J, García-Berthou E. 2009. Relaciones tróficas en el ecosistema fluvial. En: Elosegí A, Sabater S, editores. *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Bilbao: Fundación BBVA. p. 347–366.
- Muñoz-Escobar EM, Palacio-Baena JA. 2010. Efectos del cloruro de mercurio (HgCl₂) sobre la sobrevivencia y crecimiento de renacuajos de *Dendrosophus bogerti*. *Actu. Biol.* 32(93):189–197.
- Piggott JJ, Lange K, Townsend CT, Matthaei CD. 2012. Multiple stressors in agricultural streams: a mesocosm study of interactions among raised water temperature, sediment addition and nutrient enrichment. *PloS ONE* 7:1–14. doi: 10.1371/journal.pone.0049873.
- Ramírez A, Gutiérrez-Fonseca PE. 2014a. Estudios sobre macroinvertebrados acuáticos en América Latina: avances recientes y direcciones futuras. *Rev. Biol. Trop.* 62(2): 9–20.
- Ramírez A, Gutiérrez-Fonseca PE. 2014b. Functional feeding groups of aquatic insect in Latin America: a critical analysis and review of existing literature. *Rev. Biol. Trop.* 62(2): 155–167.
- R Core Team. c2015. R: a language and environment for statistical computing. Viena: R foundation for Statistical Computing. [Revisada en: 20 Ago 2016] <http://www.R-project.org/>
- Rivera CA, Zapata AM, Pérez D, Morales Y, Ovalle H, Álvarez JP. 2009. Caracterización limnológica de humedales de la planicie de inundación del río Orinoco (Orinoquía, Colombia). *Acta Biolo. Colomb.* 15(1): 145–166.
- StatPoint Technologies Inc. 2013. *Statgraphics Centurion XVI*, Version 16.2.04, Warrenton.
- Subramanian KA, Sivaramakrishnan KG, Gadgil M. 2005. Impact of riparian land use on stream insects of Kudremukh National Park, Karnataka state, India. *Insect Sci.* 5(49):1–10.
- Tamaris-Turizo CE, Turizo-Correa RR, Zúñiga MC. 2007. Distribución espacio-temporal y hábitos alimentarios de ninfas de *Anacroneuria* (Insecta: Plecoptera: Perlidae) en el río Gaira (Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia). *Caldasia* 29(2):375–385.
- Tomanova S, Goitia E, Helešic J. 2006. Trophic levels and functional feeding groups of macroinvertebrates in Neotropical streams. *Hydrobiologia* 556:251–264. doi: 10.1007/s10750-005-1255-5.
- Tomanova S, Tedesco PA. 2007. Tamaño corporal, tolerancia ecológica y potencial de bioindicación de la calidad del agua de

Anacroneuria spp. (Plecoptera: Perlidae) en América del Sur. *Biología Tropical* 55:67–81.

Wentworth CK. 1922. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *J. Geol.* 30(5):377–392.

Yule CM. 1996. Trophic relationships and food webs of the benthic invertebrate fauna of two aseasonal tropical streams in Bougainville Island, Papua New Guinea. *J. Trop. Ecol.* 12:517–534. doi: 10.1017/S0266467400009755.

Zar J. 2010. *Bioestatistical analysis*. Fifth edition. New Jersey: Prentice Hall.

Zúñiga MC, Cardona W. 2009. Bioindicadores de calidad de agua y caudal ambiental. En: Cantera J, Carvajal Y, Castro LM, editores. *Caudal Ambiental: Conceptos, Experiencias y Desafíos*. Cali: Programa Editorial Universidad del Valle. p. 167–196.

Recibido: 23/02/2017
Aceptado: 28/09/2017

Anexo 1. Insectos acuáticos recolectados en cada una de las estaciones de muestreo y grupos funcionales alimentarios (GFA) de insectos acuáticos clasificados en este trabajo.

Orden	Familia	Subfamilia	Taxón	GFA	E1	E2	E3	E4	Total	%N
Coleoptera	Dryopidae		Dryopidae sp.1	Fragmentador ³	0	0	2	0	2	0,0
			Dytiscidae sp.1	Depredador ²	2	0	0	1	3	0,0
	Elmidae	Elminae	<i>Austrolimnius</i>	Raspador ³	0	0	1	0	1	0,0
			<i>Cylloepus</i>	Raspador ³	10	2	16	1	29	0,4
			<i>Heterelmis</i>	Recolector ¹	4	16	13	0	33	0,4
			<i>Macrelmis</i>	Recolector ¹	51	26	10	0	87	1,1
			<i>Neoelmis</i>	Raspador ³	28	4	0	0	32	0,4
			<i>Pharceonus</i>	Recolector ²	0	1	0	0	1	0,0
			<i>Tropisternus</i>	Depredador ³	0	1	0	0	1	0,0
	Psephenidae		<i>Psephenus</i>	Raspador ²	1	0	0	0	1	0,0
	Ptilodactylidae		<i>Anchytarsus</i>	Fragmentador ¹	8	14	82	4	108	1,3
	Scirtidae		Scirtidae sp.1	Recolector ²	16	24	0	0	40	0,5
Diptera	Blephariceridae		<i>Limonicola</i>	Raspador ³	43	4	0	0	47	0,6
	Ceratopogonidae	Ceratopogoninae	<i>Bezzia</i>	Depredador ²	15	2	0	0	17	0,2
	Chironomidae	Chironominae	Chironominae sp.1	Recolector ²	67	40	104	2	213	2,6
			Chironominae sp.2	Recolector ²	1	0	0	0	1	0,0
			Chironomini sp.1	Recolector ²	0	3	0	0	3	0,0
			Tanytarsini sp.1	Recolector ²	1	0	164	0	165	2,0
		Diamesinae	Diamesinae sp.1	Recolector ²	1	0	0	0	1	0,0

(Continúa)

continuación anexo 1

Orden	Familia	Subfamilia	Taxón	GFA	E1	E2	E3	E4	Total	%N
Diptera		Orthocla-diinae	<i>Cricotopus</i>	Fragmentador ¹	745	274	328	5	1352	16,4
		Podono-minae	<i>Podonomus</i>	Recolector ²	3	5	0	0	8	0,1
		Tanypodi-nae	Tanypodinae sp.1	Depredador ¹	74	9	53	1	137	1,7
	Dixidae		Dixidae sp.1	Recolector ¹	2	0	1	0	3	0,0
	Dolichopo-didae		Dolichopodi-dae sp.1	Depredador ⁴	0	0	2	0	2	0,0
	Empididae		Empididae sp.1	Fragmentador ¹	7	15	5	0	27	0,3
	Muscidae		Muscidae sp.1	Depredador ²	13	3	2	0	18	0,2
	Simuliidae		<i>Gigantodax</i>	Recolector ²	4	1	0	0	5	0,1
			<i>Simulium</i>	Recolector ¹	295	51	77	686	1109	13,5
	Tipulidae	Limoninae	<i>Limonia</i>	Recolector ⁴	2	1	0	0	3	0,0
			<i>Molophilus</i>	Recolector ²	6	15	8	1	30	0,4
			<i>Tipula</i>	Fragmentador ¹	8	15	25	13	61	0,7
			Tipulidae sp.1	Depredador ²	3	0	3	0	6	0,1
			Tipulidae sp.2	Depredador ²	1	1	1	0	3	0,0
Ephemeroptera	Baetidae		<i>Andesiops</i>	Recolector ⁵	393	167	46	0	606	7,4
			<i>Baetodes</i>	Recolector ¹	679	906	458	1	2044	24,8
			<i>Camelobaet-idius</i>	Recolector ⁵	327	70	2	0	399	4,8
			<i>Mayobaetis</i>	Recolector ²	11	3	6	0	20	0,2
			<i>Nanomis</i>	Recolector ²	73	19	43	0	135	1,6
			<i>Paracloeodes</i>	Recolector ²	1	0	5	0	6	0,1
			<i>Prebaetodes</i>	Recolector ²	3	8	9	0	20	0,2
			<i>Varipes</i>	Recolector ⁴	0	0	11	0	11	0,1
			<i>Haplohyphes</i>	Recolector ¹	20	1	0	0	21	0,3
	Leptohiphidae		<i>Leptohiphys</i>	Recolector ¹	44	77	34	0	155	1,9
			<i>Tricorythodes</i>	Recolector ¹	0	0	12	0	12	0,1
			<i>Farrodes</i>	Recolector ¹	2	0	1	0	3	0,0
	Leptophlebiidae		<i>Thraulodes</i>	Recolector ¹	0	0	20	0	20	0,2
			<i>Lachlania</i>	Recolector ²	7	1	0	0	8	0,1
Hemiptera	Veliidae	Veliinae	<i>Rhagovelia</i>	Recolector ¹	1	0	31	77	109	1,3
			<i>Paravelia</i>	Depredador ²	0	0	0	1	1	0,0
			Veliidae sp.1	Recolector ¹	0	0	1	1	2	0,0
Lepidoptera	Pyalidae		Pyalidae sp.1	Fragmentador ²	0	0	1	0	1	0,0
Megaloptera	Corydalidae		<i>Corydalus</i>	Depredador ⁴	0	0	3	0	3	0,0
Odonata	Calopterygidae		Calopterygidae sp.1	Depredador ³	0	0	3	22	25	0,3
			Libellulidae sp.1	Depredador ³	0	0	18	2	20	0,2

(Continúa)

continuación anexo 1

Orden	Familia	Subfamilia	Taxón	GFA	E1	E2	E3	E4	Total	%N
Plecoptera	Perlidae		<i>Anacroneuria</i>	Depredador ¹	48	61	1	0	110	1,3
Trichoptera	Calamoceratidae		<i>Phylloicus</i>	Fragmentador ¹	1	0	0	0	1	0,0
	Glossosomatidae		<i>Culoptila</i>	Fragmentador ¹	0	2	5	0	7	0,1
	Helicopsychidae		<i>Helicopsyche</i>	Recolector ¹	0	3	153	0	156	1,9
	Hydrobiosidae		<i>Atopsyche</i>	Depredador ¹	154	34	50	0	238	2,9
	Hydropsychidae		cf. <i>leptonema</i>	Fragmentador ²	0	0	2	0	2	0,0
			<i>Leptonema</i>	Fragmentador ¹	4	2	4	0	10	0,1
			<i>Smicridea</i>	Fragmentador ¹	41	40	398	23	502	6,1
	Hydroptilidae		<i>Hydroptila</i>	Raspador ²	0	1	0	0	1	0,0
			<i>Metrichia</i>	Recolector ²	1	0	2	0	3	0,0
	Leptoceridae		<i>Nectopsyche</i>	Fragmentador ¹	2	3	1	0	6	0,1
			<i>Oecetis</i>	Depredador ¹	0	0	0	1	1	0,0
			<i>Triplectides</i>	Fragmentador ¹	0	0	1	0	1	0,0
	Odontoceridae		<i>Marilia</i>	Fragmentador ¹	0	1	6	0	7	0,1
	Philopotamidae		<i>Chimarra</i>	Recolector ⁴	0	0	2	19	21	0,3
	Polycentropodidae		<i>Polycentropus</i>	Depredador ¹	2	0	0	0	2	0,0
			<i>Polyplectropus</i>	Depredador ¹	1	0	0	0	1	0,0
Total de individuos (N)					3226	1926	2226	861	8239	100
Complejitud (Ĉn) %					99	99	99	99	100	
⁰ D					48	41	49	18	71	
¹ D					11,25	8,02	13,89	2,41		
² D					7,35	3,91	8,80	1,55		

N = abundancia, % N = abundancia porcentual por taxón, Ĉn = complejidad de muestreo, ⁰D = riqueza, ¹D = diversidad con Shannon, ²D = diversidad con Simpson.

Clasificación según: ¹Chará-Serna *et al.* 2012, ²Merritt *et al.* 2008, ³Cummins *et al.* 2005, ⁴Tomanova *et al.* 2006, ⁵Este trabajo.