

Artículo original

Variación estructural de familias de macroinvertebrados acuáticos y su relación con la calidad del agua en quebradas asociadas con cultivos de café y ganadería vacuna en el sector de La Tagua, Sierra Nevada de Santa Marta

Structural variation of families of aquatic macroinvertebrates and their relationship with the quality of water in streams associated with coffee crops and beef cattle in La Tagua, Sierra Nevada de Santa Marta

✉ Melizza Tobias-Loaiza*, 📧 Cristian Guzmán-Soto

Grupo de Investigación en Biodiversidad y Ecología Aplicada, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia

Resumen

Los ecosistemas tropicales se ven fragmentados y afectados por las actividades humanas. Es muy importante comprender cómo estas actividades inciden en la biodiversidad con miras a la conservación y el manejo de los ecosistemas acuáticos. En este estudio se evaluó la variación estructural de las familias de macroinvertebrados acuáticos y su relación con la calidad del agua en quebradas asociadas con cultivos de café y ganadería vacuna en el sector de La Tagua en la Sierra Nevada de Santa Marta. Se seleccionaron tres sitios de muestreo: uno con influencia de ganadería (La Cuca), otro cercano a cultivos de café (La Marrana) y un área sin intervención productiva evidente que sirvió como sitio de referencia (Doña Sofía). Se recolectaron 7.367 individuos distribuidos en 29 familias y 10 órdenes. Los órdenes con mayor número de familias fueron Díptera, Trichoptera y Hemiptera, con cinco familias cada uno. Se comprobaron diferencias significativas en las abundancias de las familias entre los sitios (Anosim: $R=0,026$; $p=0,035$). Según el índice BMWP-Col (*Biological Monitoring Working Party*), la quebrada La Cuca presentó aguas moderadamente contaminadas, en tanto que en La Marrana el agua estaba levemente contaminada y en la quebrada Doña Sofía tenía buena calidad. Por último, las familias tolerantes a la contaminación orgánica se encontraron en las quebradas cercanas a los cultivos de café y lugares con ganado vacuno, en tanto que en la quebrada de referencia se registró un aumento de la abundancia y el número de familias sensibles a los niveles de contaminación.

Palabras claves: Bioindicador; Índice BMWP; Agricultura; Ganadería.

Abstract

Tropical ecosystems are fragmented and affected by human activities. Understanding how these activities affect biodiversity is very important for the conservation and management of aquatic ecosystems. In the present study, we evaluated the structural variation of the families of aquatic macroinvertebrates and their relationship with water quality in streams associated with coffee crops and beef cattle in La Tagua, Sierra Nevada de Santa Marta. We selected three sampling sites: one with the influence of beef cattle (La Cuca), another close to coffee crops (La Marrana), and an area without evident productive intervention that served as a reference site (Doña Sofía). A total of 7367 individuals were collected distributed in 29 families and 10 orders. The orders with the highest number of families were Diptera, Trichoptera, and Hemiptera with five families each. Significant differences were found in the abundances of the families between the sites (Anosim: $R = 0.026$; $p = 0.035$). According to the BMWP-Col index, La Cuca stream presented moderately polluted water while in La Marrana the water was slightly contaminated and, in the Doña Sofía, it had good quality.

Citación: Tobias-Loaiza M, Guzmán-Soto C. Variación estructural de familias de macroinvertebrados acuáticos y su relación con la calidad del agua en quebradas asociadas con cultivos de café y ganadería vacuna en el sector de La Tagua, Sierra Nevada de Santa Marta. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. 46(178):206-216, enero-marzo de 2022. doi: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1577>

Editor: Gabriel Roldán

***Correspondencia:**

Melizza Tobias-Loaiza;
melizatatobias.26@gmail.com

Recibido: 8 de octubre de 2021

Aceptado: 10 de marzo de 2022

Publicado: 23 de marzo de 2022



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

Finally, families tolerant to organic contamination were associated with streams close to coffee crops and beef cattle while in the reference stream we registered an increase in the abundance and the number of families sensitive to levels of contamination.

Keywords: Bioindicator; BMWP index; Agriculture; Livestock.

Introducción

Los ecosistemas de agua dulce, como los ríos, quebradas, lagos y lagunas, son muy vulnerables debido a que reciben todos los contaminantes producto de las actividades agropecuarias que representan el vertimiento de grandes cantidades de sedimentos y agroquímicos en los cuerpos de agua (**Dudgeon, 2008; Lasso, et al., 2015**).

Se ha descrito cómo las cuencas urbanizadas presentan grandes impactos negativos que se reflejan en la composición fisicoquímica del agua y en las características del hábitat (**Walsh, et al., 2005**). Tales cambios alteran las condiciones de los ecosistemas y, por lo tanto, la diversidad de los organismos que viven en ellos (**Roy, et al., 2016**). La evaluación de las respuestas de los organismos acuáticos a las perturbaciones ocasionadas por la actividad humana es particularmente importante en regiones de gran diversidad que a menudo están amenazadas y han sido poco estudiadas (**Jantz, et al., 2015**).

Los macroinvertebrados acuáticos son considerados organismos indicadores y se usan para evaluar la calidad del agua en los ecosistemas dulceacuáticos (**Vannote, et al., 1980; Hodkinson & Jackson, 2005; Ruaro, et al., 2016**). Las larvas de algunas familias responden rápidamente a los cambios del microhábitat causados por factores como la contaminación, la sedimentación y la escasez de recursos, lo que se refleja en cambios en la diversidad (**Gómez-Anaya, 2009**).

La Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) es un macizo montañoso situado en el norte de Colombia, cuyos picos, tan altos como los de los Andes, permanecieron aislados por estar rodeados de extensos valles de poca elevación. Este aislamiento y la variedad de regiones climáticas y zonas de vida hacen de esta región una de las más diversas de Colombia, con altos niveles de endemismo (**Camero, 2003; Unidad Administrativa Especial Del Sistema De Parque Nacionales Naturales - UAESPNN, 2005**). Aunque parte de la SNSM está protegida como parque nacional, se evidencian importantes procesos de alteración de su cobertura vegetal y de sus dinámicas, así como la fragmentación de los sistemas hídricos, causada principalmente por actividades antropogénicas como la deforestación, el turismo recreativo, y la producción agropecuaria, entre otras, lo que ha provocado, directa e indirectamente, una fragmentación gradual del hábitat que podría conducir a un detrimento irreversible de su diversidad (**Gordon, 1985; UAESPNN, 2005; Tamaris-Turizo, et al., 2013**).

En dicho contexto, este estudio pretendió hacer un aporte científico que permita disminuir las brechas de conocimiento en torno a la respuesta de las comunidades acuáticas a las actividades humanas mediante la evaluación del grado de variación estructural de familias de macroinvertebrados acuáticos y su relación con la calidad de agua utilizando el índice BMWP/Col (**Roldán, 2003**) en quebradas asociadas con cultivos de café y ganado vacuno. Se analizó, además, una quebrada sin intervención productiva como sitio de referencia.

Materiales y métodos

Sitios de muestreo

Se seleccionaron tres quebradas en la cuenca del río Toribio: La Cuca, La Marrana y Doña Sofía (**Figura 1**). La Cuca se encuentra a 1.506 m s.n.m., entre los 11°5'12,48"N y los 74°2'59,23"O. Se caracteriza por senderos en su ribera donde constantemente transita ganado de una finca a otra. La quebrada La Marrana se encuentra a 1.552 m s.n.m., entre los 11°4'49,08"N y los 74°2'23,00"O, en la vecindad de cultivos de café muy cercanos al cuerpo de agua, por lo que recibe todos los desechos del lavado y la producción del café. Sin embargo, esta zona presenta un bosque de galería en buen estado de conservación. Por

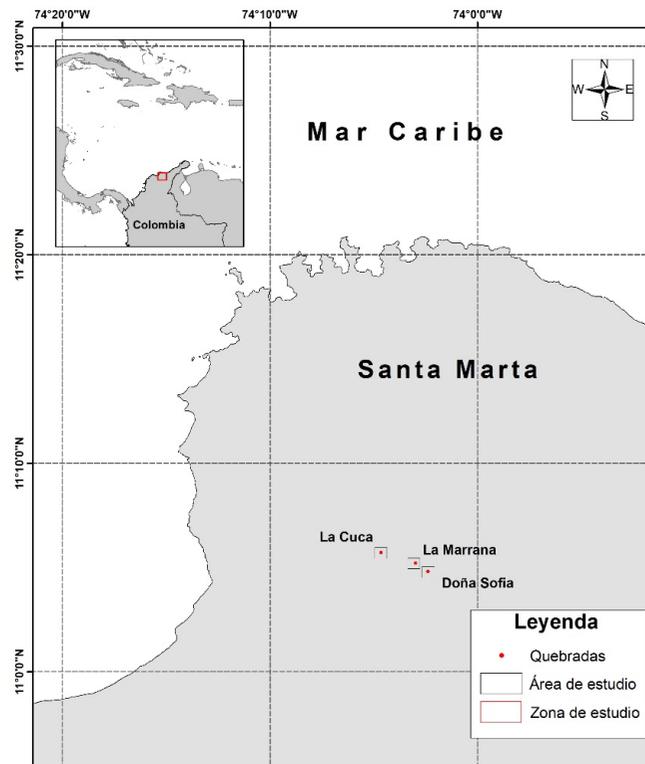


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreos

último, el tercer sitio de muestreo es conocido por los habitantes del sector como quebrada Doña Sofía; se ubica a 1.600 m s.n.m., entre los 11°5'42,72"N y los 74°4'38,86"O, y en sus alrededores no hay actividades productivas; se caracteriza, además, por tener un bosque de ribera conservado de dosel cerrado.

Fase de campo

En cada una de las quebradas se hicieron dos muestreos mensuales, uno cada 15 días, durante tres meses, principalmente en época de baja precipitación. En cada sitio se seleccionó un tramo de 50 metros en el cual se tomaron tres réplicas por cada microhábitat. Se tuvo en cuenta que en los sitios no hubiera influencia de urbanización o cualquier otro factor que pudiera aportar fuentes difusas de contaminación en las quebradas.

Los macroinvertebrados se recolectaron en la mayoría de los microhábitats presentes utilizando una red Surber (poro de 0,25 mm y área de 0,09 m²). Se capturaron organismos alojados en la grava y la hojarasca y con un nucleador (diámetro de 15 cm) se tomaron muestras de sedimentos. Las muestras recolectadas se preservaron en alcohol al 70 %. La identificación en el laboratorio se hizo con las claves taxonómicas de **Merritt, et al.** (2008), **Domínguez & Fernández** (2009) y **Prat, et al.** (2011).

Análisis de datos

Se determinó el número de familias y la abundancia en cada sitio de muestreos para conocer su asociación con las actividades agrícolas y ganaderas en la zona de estudio mediante un análisis de correspondencia simple (ACS). Para corroborar la existencia de diferencias significativas se aplicó un análisis de similitud (ANOSIM) utilizando la distancia de Bray-Curtis. Para medir la calidad del agua a partir de los macroinvertebrados acuáticos, se aplicó el índice BMWP/Col por muestreo y se obtuvo el valor medio en cada quebrada; los puntajes de cada familia se utilizaron para clasificarlas como tolerantes, no tolerantes y moderadamente tolerantes (**Roldán, 2003**).

Para determinar el grado de respuesta de las familias a las actividades agropecuarias, se utilizó un modelo lineal generalizado (MLG) por familia en el que la abundancia fue la variable dependiente y los sitios de muestreos, la independiente. Tras la exploración de los datos se evidenció que la varianza condicional era mayor a la media condicional, por lo que se utilizó el modelo binomial negativo. Se consideró significativo todo valor de $p < 0,05$. Todos los análisis se hicieron con el paquete estadístico R. Studio 0.99.903 (www.r-project.org).

Resultados

Estructura de las familias de macroinvertebrados

Según la identificación y clasificación de los macroinvertebrados acuáticos en los tres sitios de muestreo, los 7.367 individuos recolectados se distribuyeron en 29 familias y 10 órdenes (**Tabla 1**). Los órdenes con mayor número de familias fueron Díptera, Trichoptera y Hemiptera, con cinco familias cada uno. Se observó que las tres quebradas compartían 21 familias, en tanto que una familia se presentó exclusivamente en La Cuca (Empididae), una en La Marrana (Glossosomatidae) y tres en Doña Sofía (Notonectidae, Odontoceridae y Oligoneuriidae) (**Figura 2**).

En la quebrada La Cuca se recolectaron 1.982 organismos distribuidos en 22 familias y 10 órdenes. La familia más representativa fue Physidae, con 744 individuos, es decir, el 38 % del total de las muestras para este sitio, seguida de las familias Simuliidae y Chironomidae, las cuales representaron el 17 % y el 12 %, respectivamente. Las familias con menos organismos fueron Corydalidae (cuatro individuos), Mesoveliidae (tres individuos) y Empididae (un solo individuo) (**Tabla 1**).

En la quebrada La Marrana se registraron 2.062 individuos pertenecientes a 25 familias y 10 órdenes. La familia más abundante fue Chironomidae, con 452 individuos, es decir, el 26 % del total en el sitio de muestreo, seguida de las familias Calamoceratidae y Physidae, con el 13 % y el 11 %, respectivamente. Las familias con menores abundancias fueron Gerridae, Glossosomatidae y Oligoneuriidae, cada una con un solo individuo (**Tabla 1**).

En la quebrada Doña Sofía se recolectaron 3.323 individuos distribuidos en 27 familias y 10 órdenes. Las familias más abundantes fueron Simuliidae (21 %), Hydropsychidae (16 %) y Perlidae (15 %), y las menos abundantes Gerridae, Notonectidae y Odontoceridae, con dos organismos cada una (**Tabla 1**).

En el análisis de similitud se registraron diferencias significativas entre los sitios (Anosim: $R=0,026$; $p=0,035$). Además, el análisis de correspondencia simple sugiere que la quebrada La Cuca se caracterizó principalmente por la gran abundancia de Physidae (familia tolerante) y Calopterygidae (familia moderadamente tolerante). En La Marrana, por su parte, predominaron Helicopsychidae (familia no tolerante) y Chironomidae (familia tolerante), en tanto que en la quebrada Doña Sofía prevalecieron las familias Perlidae (no tolerante), Corydalidae e Hydropsychidae (moderadamente tolerantes) (**Figura 3**).

En cuanto a la respuesta estructural, se encontró que la abundancia de las familias Perlidae (BMWP=10), Ptilodactylidae (BMWP=10) e Hydropsychidae (BMWP=7) fueron menores en La Cuca y La Marrana, en comparación con las encontradas en la quebrada Doña Sofía para estas familias. Asimismo, se observó una disminución de la abundancia de las familias Calamoceratidae (BMWP=10), Leptophlebiidae (BMWP=9), Leptohyphidae (BMWP=7), Corydalidae (BMWP=6) y Libellulidae (BMWP=6) en la quebrada La Cuca, en comparación con Doña Sofía. En cuanto a la familia Physidae (BMWP=3), fue la única cuya abundancia aumentó en La Cuca, en contraste con los otros dos sitios.

El modelo lineal generalizado aplicado a cada familia permitió comprobar estadísticamente que la abundancia de la familia Perlidae disminuyó 14 veces en la quebrada La Cuca y 2,8 veces en La Marrana, comparada con la abundancia encontradas en la quebrada Doña Sofía. Asimismo, la familia Calamoceratidae disminuyó su abundancia 3,1 veces en La Cuca y 1,2 veces en La Marrana comparada con la quebrada Doña Sofía (**Tabla 2**). En la quebrada La Cuca la abundancia de la familia Corydalidae

Tabla 1. Abundancia de las familias en las zonas de estudio

Orden	Familia	Quebrada La Cuca	Quebrada La Marrana	Quebrada Doña Sofia	Abundancia total
Basommatophora	Physidae	744	190	5	939
Coleoptera	Ptilodactylidae	/	/	5	5
	Elmidae	94	116	115	325
Diptera	Simuliidae	334	330	714	1378
	Empididae	1	/	/	1
	Tipulidae	6	2	5	13
	Chironomidae	234	452	240	926
	Blephariceridae	/	3	5	8
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	17	102	121	240
	Baetidae	10	32	46	88
	Leptohiphidae	16	25	39	80
	Oligoneuriidae	/	1	7	8
Hemiptera	Veliidae	41	50	133	224
	Naucoridae	125	/	153	278
	Mesoveliidae	3	11	16	30
	Naucoridae	/	123	/	123
	Gerridae	/	1	2	3
	Notonectidae	/	/	2	2
Lepidoptera	Pyralidae	47	11	30	88
Megaloptera	Corydalidae	4	6	35	45
Odonata	Gomphidae	9	18	32	59
	Calopterygidae	39	12	5	56
	Libellulidae	30	30	102	162
Plecoptera	Perlidae	29	150	484	663
Trichoptera	Calamoceratidae	85	230	308	623
	Helicopsychidae	17	38	22	77
	Leptoceridae	58	60	153	271
	Hydropsychidae	39	68	542	649
	Glossosomatidae	/	1	/	1
	Odontoceridae	/	/	2	2
Total:		1982	2062	3323	7367

disminuyó 7,7 veces, la de Leptophlebiidae 6,3 veces y la de Leptohiphidae 2,1 veces en comparación con la quebrada Doña Sofia (**Tabla 2**), en tanto que la abundancia de la familia Hydropsychidae disminuyó 12,5 veces en La Cuca y 7,1 veces en La Marrana comparadas con Doña Sofia. La abundancia de la familia Libellulidae, por su parte, se redujo 2,1 veces en La Cuca y 1,8 La Marrana comparadas con la abundancia en la quebrada Doña Sofia (**Tabla 2**). Por el contrario, la abundancia de la familia Physidae aumentó 172,3 veces en La Cuca y 43,5 veces La Marrana, comparada con la quebrada Doña Sofia (**Tabla 2**).

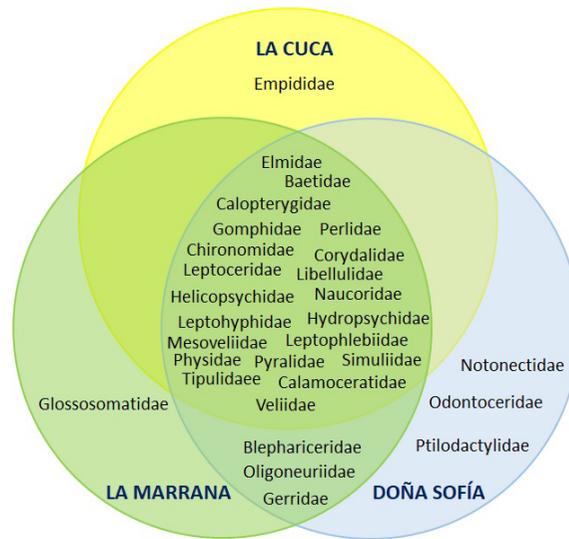


Figura 2. Familias exclusivas y compartidas entre los sitios de muestreos

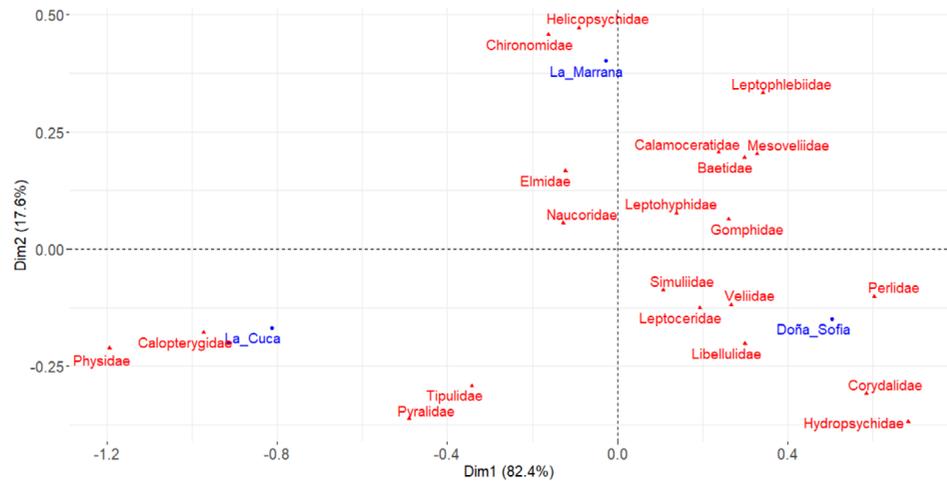


Figura 3. Análisis de Correspondencia Simple (ACS) para las estaciones de muestreo evaluadas

Índice BMWP-Col

El valor medio del índice BMWP-Col para la quebrada La Cuca fue de 53 puntos, lo que indica una calidad del agua dudosa, es decir, moderadamente contaminada. En la quebrada La Marrana el puntaje promedio fue de 70 puntos, indicativo de una calidad de agua aceptable, es decir, ligeramente contaminada. Por el contrario, la quebrada Doña Sofia presentó un puntaje promedio de 101, lo que significa una buena calidad del agua, entre limpia y muy limpia (Tabla 3).

Las familias de mayor abundancia en la quebrada La Cuca obtuvieron los menores puntajes en el índice BMWP (Physidae y Chironomidae), lo que indica que los organismos más abundantes se consideran tolerantes (Figura 4). Por el contrario, en la quebrada Doña Sofia las familias más abundantes tuvieron puntuaciones altas en el índice (Perlidae, Calamoceratidae, Simuliidae e Hydropsychidae), lo que indica que abundan los organismos más sensibles a la contaminación orgánica (Figura 5). En la quebrada La Marrana, aunque la familia más abundante tuvo una calificación de dos (Chironomidae), se encontró un número representativo de familias con calificación mayor a seis (Figura 6).

Tabla 2. Familias de macroinvertebrados en la que se evidenció grado de respuestas en sus abundancias por el tipo de impacto ($p < 0,05$)

Familia	Valor p: Cuca vs Sofía	Valor p: Marrana vs Sofía	Grado de respuesta Cuca vs Sofía	Grado de respuesta Marrana vs Sofía
Calamoceratidae	0,0102		3,1	1,2
Perlidae	8,65E-11	0,0015	14,0	2,8
Ptilodactylidae	1,83E-02	0,0034		
Leptophlebiidae	0,0009		6,3	
Hydropsychidae	4,14E-05	1,77E-02	12,5	7,1
Leptoxyphidae	0,0052		2,1	
Corydalidae	0,0179		7,7	
Libellulidae	0,0030	0,0149	2,1	1,8
Physidae	1,83E-02	0,0034	172,3	43,5

Tabla 3. Puntaje del índice BMWP por muestreo y quebrada

Muestreo	Quebrada La Cuca	Quebrada La Marrana	Quebrada Doña Sofía
Enero-1	80	114	105
Enero-2	58	84	96
Febrero-1	36	63	111
Febrero-2	66	68	85
Marzo-1	16	31	105
Marzo-2	61	62	104
Promedio	52,8	70,3	101,0

Clase III, dudosa. Aguas moderadamente contaminadas
 Clase II, aceptable. Aguas ligeramente contaminadas
 Clase I, buena. Aguas limpias a muy limpias

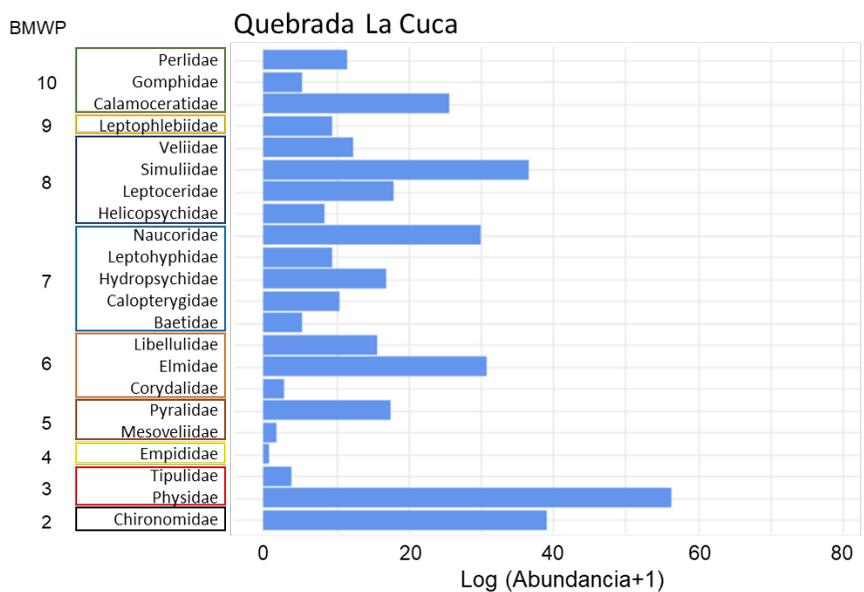


Figura 4. Puntaje del índice BMWP y abundancias de las familias en la quebrada La Cuca

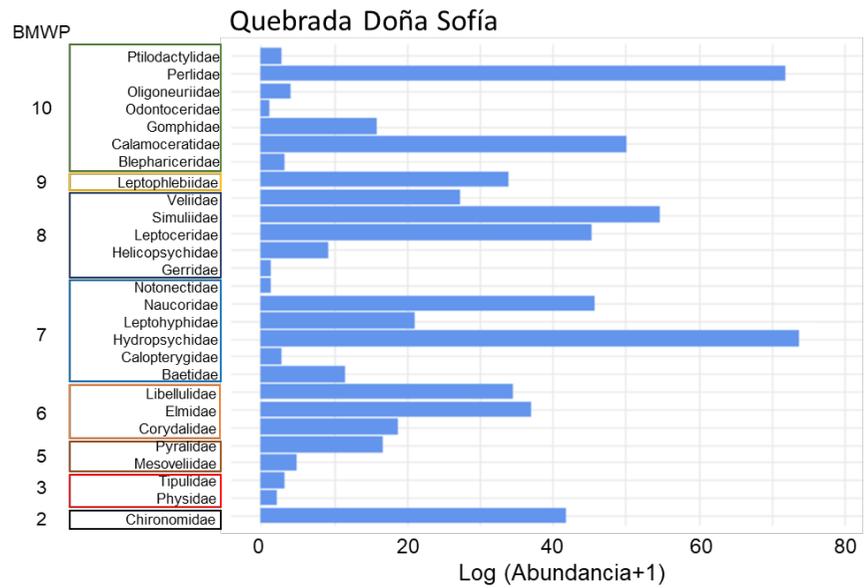


Figura 5. Puntaje del índice BMWP y abundancias de las familias en la quebrada Doña Sofía

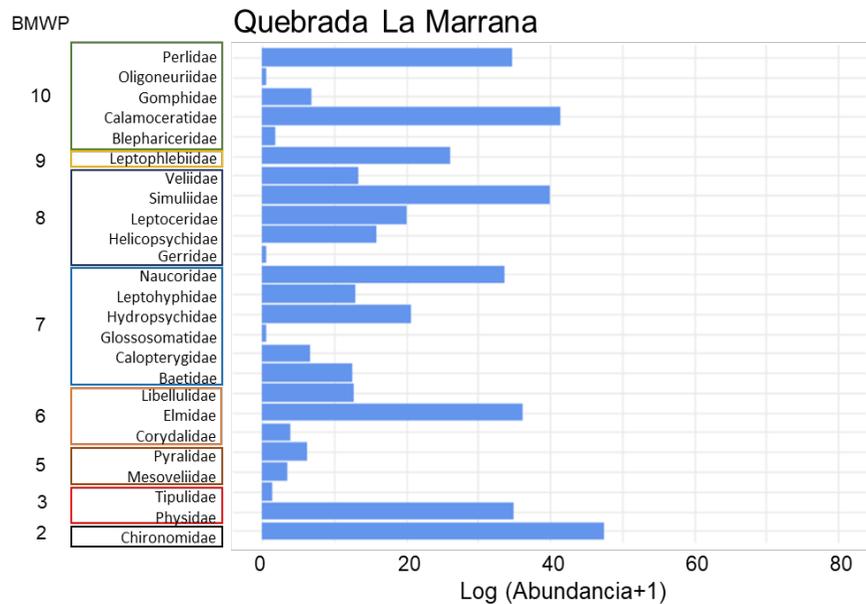


Figura 6. Puntaje del índice BMWP y abundancias de las familias en la quebrada La Marrana

Por último, la quebrada Doña Sofía presentó el mayor número de familias con un puntaje de diez (Ptilodactylidae, Blephariceridae, Oligoneuriidae, Gomphidae, Perlidae, Calamoceratidae y Odontoceridae), seguido de La Marrana (Oligoneuriidae, Blephariceridae, Gomphidae, Perlidae y Calamoceratidae).

Discusión

Los órdenes y la riqueza de familias en las tres quebradas del sector de La Tagua se aproximan a lo observado por Granados (2013) en la parte alta, media y baja de la cuenca del río Gaira, donde se han reportado 35 familias y 10 órdenes de macroinvertebrados. Las quebradas seleccionadas en el presente estudio tienen condiciones ambientales similares

a los afluentes de la cuenca del río Gaira en cuanto a la variabilidad del clima y los tipos de bosque presentes según la altura. Esto se debe a que los ríos Gaira y Toribio nacen en la cuchilla de San Lorenzo y descienden por la vertiente occidental de la SNSM (**Corporación Autónoma Regional del Magdalena - CORPAMAG**, 2016). Por ello, el sector de La Tagua es muy diverso, ya que contiene el 82 % de las familias reportadas en el estudio de **Granados** (2013) a lo largo de la cuenca de río Gaira, con la excepción de las familias Atyidae, Byrrhoidea, Ceratopogonidae, Dytiscidae, Hydrobiosidae y Muscidae, que no se encontraron en el presente estudio.

Los órdenes Díptera y Trichoptera se cuentan entre los grupos de macroinvertebrados acuáticos más diversos, de mayor distribución y mejor conocidos en el Neotrópico. Estos constituyen gran parte de la biomasa en los ecosistemas dulceacuícolas y tienen un papel fundamental en las redes tróficas (**Roldán**, 2016). En el presente trabajo, fueron los de mayor número de familias y abundancia en general, lo que coincide con lo observado en la cuenca de San Alberto en Perú y en el río Chinchiná en Caldas, Colombia, donde los órdenes Díptera y Trichoptera fueron los más dominantes y con la mayor cantidad de familias (**Gustavson, et al.**, 2013; **Villada-Bedoya, et al.**, 2017).

La Quebrada Doña Sofía, dada la variedad de su hábitat y la buena calidad del agua, favoreció la abundancia de las familias Perlidae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Leptophlebiidae, Hydropsychidae y Leptoheptidae, todas con un puntaje mayor a siete en el BMWPCol, lo que demuestra que son particularmente sensibles a la contaminación orgánica (**Herrera**, 2005; **Roldán**, 2016; **Leaño-Sanabria & Pérez-Barriga**, 2020). La exclusividad de las familias Notonectidae, Odontoceridae y Oligoneuriidae en esta quebrada se debe a que estos organismos no son tolerantes a la contaminación orgánica (**Domínguez & Fernández**, 2009; **Roldán**, 2016). Algunas familias como Chironomidae, en cambio, se encontraron en gran abundancia en las tres quebradas, lo que probablemente se debe a que son organismos que toleran un amplio nivel de contaminación y se adaptan a diversas condiciones ambientales (**Paggi**, 1999; **Liévano & Ospina**, 2007).

En la quebrada La Marrana, a pesar de presentar aguas moderadamente contaminadas, el número de familias fue diferente a los otros sitios de muestreo. Se observó una abundancia importante de familias tolerantes (Chironomidae y Physidae) y no tolerantes a la contaminación orgánica (Simuliidae, Calamoceratidae), lo que posiblemente responda al hecho de que las plantaciones de café que la rodean no han tenido impacto en el total de la vegetación ribereña, lo que favorece los ciclos de vida de la fauna acuática. Diversos autores señalan que en las zonas donde se mantienen los bosques de ribera, la riqueza y las abundancias de los organismos acuáticos son mayores en comparación con aquellas que han perdido su vegetación porque tienen mayor disponibilidad de recursos en el cuerpo de agua, además de que evitan la erosión y los altos niveles de sedimentación (**Naiman, et al.**, 1997; **Meza, et al.**, 2012; **Chará-Serna, et al.**, 2015). Sin embargo, en los tramos alrededor de las plantaciones se observó una elevada sedimentación en la quebrada, hábitat preferido por las familias Gomphidae y Libellulidae.

En cuanto a la quebrada La Cuca, esta se caracterizó por presentar aguas moderadamente contaminadas, bosque secundario, zona de pastizales, senderos al borde de la quebrada y constante tránsito de ganado. Estas características resultaron en la disminución del número de familias y de su abundancia en comparación con los otros dos sitios de muestreo, y, además, se reflejaron en la abundancia de las familias Physidae y Chironomidae, las cuales se han relacionado claramente con la contaminación y eutrofización de los ecosistemas dulceacuícolas (**González del Tánago & García-Jalón**, 1984). Al igual que en otros estudios, la familia Physidae fue importante para determinar los usos del suelo (**Ramírez, et al.**, 2013). Se ha documentado que esta se adapta rápidamente en ambientes con altas cargas orgánicas, detritus y bajos niveles de oxígeno, por lo que parece ser un indicador clave de áreas degradadas (**González del Tánago & García-Jalón**, 1984; **Roldán**, 2003; **Liévano, et al.**, 2007).

Conclusiones

Se demostró que las actividades ganaderas y agrícolas producen cambios en la calidad del agua y variaciones en la estructura de las familias de macroinvertebrados en el sector de La Tagua en la SNSM. Dichas actividades incidieron en la disminución observada en la abundancia y el número de familias no tolerantes a la contaminación orgánica. En la quebrada conservada, por el contrario, se observó un aumento de la abundancia y el número de familias no tolerantes a niveles de contaminación.

El presente estudio es importante para la región noroccidental de la SNSM porque permite comprender cómo varía la estructura de las familias de macroinvertebrados y la calidad de agua según el grado de asociación con las actividades agrícolas y ganaderas desarrolladas en el sector. Esta información es muy útil, puesto que servirá como base para desarrollar estrategias encaminadas a determinar el impacto de las prácticas agropecuarias sobre la biodiversidad de macroinvertebrados.

Agradecimientos

A la Fundación Atelopus, por financiar las salidas de campo y a sus integrantes, Luis Alberto Rueda, José Luis Pérez, José Barros, Sintana Rojas y Jefferson Villalba, por su apoyo en campo. A la comunidad del sector de La Tagua, por su colaboración y guía en campo.

Contribución de los autores

MTL y CGS participaron en el proceso de recolección de datos, el análisis de la información y la escritura del documento.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Referencias

- Camero, E.** (2003). Caracterización de la fauna de carábidos (Coleoptera: Carabidae) en un perfil altitudinal de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias*. **27** (105): 491-516.
- Chará-Serna, A. M., Chará, J., Giraldo, L. P., Zúñiga, M. D. 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.
- Corporación Autónoma Regional del Magdalena - CORPAMAG.** (2016). Estudios base para la reglamentación de corrientes de los Ríos Buritacá, Gaira, Toribio, Córdoba, Orihueca y Sevilla, a partir de la oferta y disponibilidad del recurso hídrico. Santa Marta, Colombia. Corpamag, 262 pp.
- Domínguez E. & Fernández H.** (2009). Macroinvertebrados bentónicos Sudamericanos. Sistemática y biología. Tucumán, Argentina Fundación Miguel Lillo. 656 pp.
- Dudgeon, D.** (2008). Tropical stream ecology. USA: Elsevier Science. 300 pp.
- Gómez-Anaya, J. A.** (2009). Ecología de Los ensambles de larvas de odonatos (Insecta), y su uso potencial como indicadores de calidad ecológica en la Sierra de Coalconan, Michoacán, México. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Estado de Hidalgo, México.
- González del Tánago, M. & García Jalón, D.** (1984). Desarrollo de un índice biológico para estimar la calidad de las aguas de la cuenca del Duero. *Limnética*. **1**: 263-272.
- Gordon, R.** (1985). La taxonomía de insectos: su importancia y perspectivas. Memorias XII Congreso Sociedad Colombiana de Entomología –SOCOLEN-. Medellín, Colombia.
- Granados, C.** (2013). Análisis de la dieta de los macroinvertebrados bentónicos en un gradiente altitudinal de la cuenca del río Gaira (Sierra Nevada de Santa Marta - Colombia). Tesis para optar el título de Magister Scientiarum en Ciencias Biológicas. Mención Ecología Acuática. Universidad de Zulia, Venezuela.
- Gustavson, S. S., Cosme, L. A., Trama, F. A.** (2013). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la calidad de agua en la microcuenca San Alberto, Oxapampa, Perú. *Apuntes de Ciencia y Sociedad*. **3** (2): 124-139.

- Herrera, M. J. S.** (2005). El índice biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party score), modificado y adaptado al cauce principal del río pamplonita norte de Santander. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*. **3** (2): 54-67.
- Hodkinson, I. D. & Jackson, J. K.** (2005). Terrestrial and aquatic invertebrates as bioindicators for environmental monitoring, with particular reference to mountain ecosystems. *Environmental management*. **35** (5): 649-666.
- Jantz, S. M., Barker, B., Brooks, T. M., Chini, L. P., Huang, Q., Moore, R. M., Noel, J., Hurtt, G.C.** (2015). Future habitat loss and extinctions driven by land-use change in biodiversity hotspots under four scenarios of climate-change mitigation. *Conservation Biology*. **29** (4): 1122-1131. <https://doi.org/10.1111/cobi.12549>
- Lasso, C. A., Blanco-Liberos J. F., Sánchez-Duarte, P.** (Editores). 2015. XII. Cuencas pericontinentales de Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela: tipología, biodiversidad, servicios ecosistémicos y sostenibilidad de los ríos, quebradas y arroyos costeros. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia. 454 p.
- Leaño-Sanabria, J. J. & Pérez Barriga, D.** (2020). Determinación de la calidad del agua mediante el índice BMWP/BOL (bioindicadores ecológicos) del río Trancas, Municipio de Entre Ríos-Tarija. *Acta Nova*. **9** (4): 567-591.
- Liévano, A. & Ospina, R.** (2007). Guía ilustrada de los macroinvertebrados acuáticos del río Bahamón. Bogotá D.C. Universidad El Bosque E Instituto Alexander Von Humbolt. Bogotá, D. C. 130 p.
- Merritt, R. W. & Cummins, K. W.** (2008). An introduction to the aquatic insects of North America. Kendall Hunt. Ciudad: Dubuque, Iowa. 862 p.
- Meza, A. M., Rubio, J., Lucimar, G., Jeymy, M.** (2012). Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná. *Caldasia*. **34** (2): 443-456.
- Naiman, R.J. & Décamps H.** (1997). The ecology of interfaces: Riparian zones. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* **28**: 621-658.
- Paggi, A. C.** (1999). Los Chironomidae como indicadores de calidad de ambientes dulceacuáticos. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*. **58** (1-2): 202-207.
- Prat, N., Rieradevall, M., Acosta, R., Villamarín, C.** (2011). Guía para el reconocimiento de las larvas de Chironomidae (Diptera) de los ríos altoandinos de Ecuador y Perú. Grupo de Investigación FEM Departamento de Ecología, Universidad de Barcelona, España, 78.
- Ramírez, D. F., Talero, G. M., López, R. H.** (2013). Macroinvertebrados bentónicos y calidad del agua en un tramo del río Bogotá. Cajicá-Colombia. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*. **16** (1): 205-214.
- Roldán-Pérez, G.** (2003). Pérez, G. R. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Propuesta para el uso del método BMWP Col. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 165 p.
- Roldán-Pérez, G.** (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. **40** (155): 254-274.
- Roy, A. H., Capps, K. A., El-Sabaawi, R. W., Jones, K. L., Parr, T. B., Ramírez, A., Smith, R.F., Walsh, C.J., Wenge, S.J.** (2016). Urbanization and stream ecology: diverse mechanisms of change. *Freshwater Science*. **35**: 272-277. <https://doi.org/10.1086/685097>
- Ruaro, R., Gubiani, É. A., Cunico, A. M., Moretto, Y., Piana, P. A.** (2016). Comparison of fish and macroinvertebrates as bioindicators of Neotropical streams. *Environmental monitoring and assessment*. **188** (1): 45. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-5046-9>
- Tamaris-Turizo, C., Rodríguez-Barríos, J., Ospina-Torres, R.** (2013). Deriva de macroinvertebrados acuáticos a lo largo del río Gaira, vertiente noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Caldasia*. **35** (1): 149-163.
- Unidad Administrativa Especial Del Sistema De Parque Nacionales Naturales – UAESPNN.** (2005). Plan de Manejo Parque Nacional Natural Sierra Nevada de Santa Marta 2005-2009. Ministerio del Medio Ambiente, Santa Marta-Colombia.
- Vannote, R. L., Minshall, K. W., Cummins, J. R., Sedell, C. E., Cushing, C. E.** (1980). The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. **37**: 130-137.
- Villada-Bedoya, S., Ospina-Bautista, F., G-Días, L., Estévez-Varón, J. V.** (2017). Diversidad de insectos acuáticos en quebradas impactadas por agricultura y minería, Caldas, Colombia. *Revista de Biología Tropical*. **65** (4): 1635-1659.
- Walsh, C. J., Roy, A. H., Feminella, J. W., Cottingham, P. D., Groffman, P. M., Morgan, R. P.** (2005). The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure. *Journal of the North American Benthological Society*. **24** (3): 706-723. <https://doi.org/10.1899/04-028.1>