

# DIVERSIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS Y CALIDAD DE HÁBITAT EN AFLUENTES DEL PARQUE NACIONAL NATURAL SELVA FLORENCIA

## Diversity of aquatic macroinvertebrates and habitat quality in tributaries of the national natural park Selva Florencia

Stefany Gil-González<sup>1a\*</sup>, Nately Alvis-Zapata<sup>1d</sup>, Catherine Rodríguez-Hurtado<sup>3</sup>, Lucimar Gomes Dias<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Caldas, Grupo de investigación BIONAT, Grupo Entomológico de la Universidad de Caldas (GEUC), Cl. 65 #26-10, Manizales, Colombia.

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad de Caldas, Grupo de Investigación BIONAT, Cl. 65 #26-10, Manizales, Colombia.

<sup>3</sup> Parque Nacional Natural Selva de Florencia, Crr 9 Nro 2-30, Corregimiento de Florencia, Samaná, Colombia.

\* For correspondence: stefany.biologiaucaldas@gmail.com

Received: 28<sup>th</sup> September 2022. Returned for revision: 01<sup>st</sup> February 2023. Accepted: 03<sup>rd</sup> May 2023.

Associate Editor: Anakena Castillo

Citation/ citar este artículo como Gil-González, S., Alvis-Zapata, N., Rodríguez-Hurtado, C. y Dias, L.G. (2023). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad de hábitat en afluentes del Parque Nacional Natural Selva Florencia. *Acta Biol Colomb*, 28(2), 319-328. <https://doi.org/10.15446/abc.v28n2.104022>

### RESUMEN

Los ecosistemas de agua dulce son una fuente primaria de servicios ecosistémicos esenciales para sustentar la vida y albergan una importante diversidad de especies acuáticas. El conocimiento sobre los macroinvertebrados acuáticos es precario en áreas declaradas como protegidas de Colombia. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la diversidad de macroinvertebrados acuáticos bioindicadores y la calidad ecológica de hábitat del Parque Nacional Natural Selva de Florencia (PNNSF). Se recolectaron muestras de macroinvertebrados en seis microcuencas, cuatro ubicadas dentro del Parque y dos en la zona de amortiguamiento. Se realizaron análisis de diversidad de orden Q, variación en la composición de especies, y su relación con las variables fisicoquímicas. Para estimar la calidad del hábitat y del agua se aplicaron los siguientes índices: Índice de Integridad del Hábitat (IIH), Índice de Calidad del Ecosistema Ribereño (QBR), y el BMWP. Se recolectaron un total de 2894 macroinvertebrados acuáticos. Los órdenes más representativos fueron Ephemeroptera y Trichoptera. Los resultados del IIH fueron de moderada a alta integridad. El QBR fluctuó entre 65-100, indicando un nivel de calidad intermedia, buena y muy buena. El BMWP indicó que todos los afluentes estudiados se encuentran en la categoría de aguas muy limpias sin evidencias de contaminación. Finalmente, se concluye que el PNNSF y su zona de amortiguamiento están cumpliendo su función en la conservación de la diversidad acuática y se destaca la importancia de continuar con las estrategias de monitoreo implementadas en el PNNSF, a fin de asegurar el mantenimiento de su diversidad biológica e integridad ambiental.

**Palabras clave:** áreas de conservación, índices de integridad, invertebrados acuáticos, recurso hídrico, reservas naturales.

### ABSTRACT

Freshwater ecosystems are a primary source of ecosystem services essential for sustaining life and host an important diversity of aquatic species. The knowledge about aquatic macroinvertebrates is precarious in protected areas of Colombia. This study aimed to evaluate the diversity of aquatic macroinvertebrate bioindicators and the ecological quality of habitat in the Selva Florencia National Natural Park (PNNSF). Samples were taken from six micro-watersheds; four points within the park and two in the buffer zone. The diversity index of order Q, variation in species composition, and its relationship with physicochemical variables were performed. To estimate habitat and water quality, the following indexes were used: Habitat Integrity Index (HII), the Riparian Ecosystem Quality Index (RQI), and the BMWP. A total of 2894 aquatic macroinvertebrates were collected. The most representative orders were Ephemeroptera and Trichoptera. The HII results were moderate to high integrity. The QBR ranged from 65-100, indicating an

intermediate, good, and very good quality level. The BMWP indicated that all the tributaries studied are in the category of very good quality waters without evidence of contamination. Finally, it is concluded that the PNNSF and the buffer zone are fulfilling their role in the conservation of aquatic diversity and highlight the importance of continuing with the monitoring strategies implemented in the PNNSF to ensure the maintenance of its biological diversity and environmental integrity.

**Keywords:** aquatic invertebrates, conservation areas, integrity indices, natural reserves, water resource.

## INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de agua dulce son recursos indispensables para la vida al proporcionar servicios ecosistémicos como: abastecimiento de agua, producción de energía, fuentes de absorción de carbono, recursos forestales, pesca y alimentación (De Groot et al., 2010; Jacobus et al., 2019; Raitif et al., 2019). Estos servicios nos permiten tener una mejor comprensión en nuestros activos naturales como componentes críticos de la riqueza inclusiva, el bienestar y la sostenibilidad del planeta (Costanza et al., 2014), brindando una serie de beneficios no solo para la humanidad, sino que también sostienen una amplia gama de comunidades animales, vegetales y de microorganismos (Sabater et al., 2009).

Los impactos más significativos que afectan a estos ecosistemas acuáticos incluyen la urbanización progresiva, los diferentes usos del suelo, la sobreexplotación de recursos naturales, la desviación de cauces de ríos e introducción de especies exóticas (Acosta et al., 2009). La mayoría de estas actividades, además de alterar la dinámica natural de los recursos hídricos, resultan en la remoción total o parcial de la vegetación ribereña, que afecta la integridad y calidad de las fuentes de agua (Nessimian et al., 2008).

Reconociendo la importancia de la utilización de bioindicadores, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, junto con otras instituciones, han dado un primer paso para proponer una metodología para la estimación del caudal ambiental en los ríos colombianos (Pinilla-Agudelo et al., 2014). Entre estos protocolos se han integrado parámetros fisicoquímicos y respuestas biológicas, incluyendo el uso de macroinvertebrados acuáticos, que son una herramienta valiosa para determinar la integridad de los ecosistemas acuáticos, al ser sensibles a estas perturbaciones ambientales (Muñoz et al., 2001; Flotemersch et al., 2006).

Colombia cuenta con 59 Parques Nacionales Naturales, entre ellos, se encuentra el Parque Nacional Natural Selva de Florencia (PNNSF) establecido en el año 2005 como área protegida (Departamento Nacional de Planeación, 2021). A pesar de albergar una gran riqueza faunística e hídrica, esta área cuenta con escaso conocimiento acerca de la calidad de agua de sus afluentes y los macroinvertebrados acuáticos que allí habitan (Orrego-Meza et al., 2020).

Por lo anterior, y como complemento al Programa de Monitoreo que está siendo implementado en el Parque, este estudio tuvo como objetivo evaluar la diversidad de

macroinvertebrados acuáticos bioindicadores y la integridad de hábitat en afluentes ubicados dentro y fuera del área del PNNSF, con el propósito de ampliar el conocimiento. Además, se hace indispensable generar información sobre la zona de estudio para incentivar medidas de mitigación o conservación, teniendo en cuenta las actividades antrópicas (ganadería y agricultura) que se han presentado en la historia del PNNSF (Herrera et al., 2015). En este sentido, se esperaría encontrar una diferencia en la diversidad de los macroinvertebrados acuáticos y la calidad del hábitat, como producto del cambio y uso del suelo, especialmente aquellas ubicadas en la zona de amortiguamiento del PNNSF.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDIO

El Parque Nacional Natural Selva de Florencia (PNNSF) se encuentra ubicado en el oriente del departamento de Caldas sobre la vertiente Oriental de la Cordillera Central de Colombia a 5°298,17" N, y 75°047,18" W, con una extensión de 10019 ha, con un amplio gradiente altitudinal que va desde los 850 m. s. n. m hasta los 2400 m. s. n. m (Rodríguez et al., 2006; Herrera et al., 2020). Cuenta con una variedad de suelos, geomorfología y clima propios de los Andes Tropicales, con hábitats naturales que lo hacen un gran reservorio florístico y faunístico (Rodríguez et al., 2006). Por la riqueza en sus nacimientos de agua, es considerado la Estrella Hídrica del Oriente Caldense, la cual es regulada gracias a la presencia de las zonas boscosas y áreas protegidas que alimentan los ríos La Miel y Samaná Sur (Herrera et al., 2020). Presenta una variación en la temperatura media anual entre los 17 °C y 24 °C y precipitaciones anuales hasta 8000 mm (Rodríguez et al., 2006; Orrego-Meza et al., 2020).

La presente investigación se desarrolló en el marco del Programa de Monitoreo del PNNSF implementado a partir del año 2020, coordinado por el equipo de monitoreo e investigación del PNNSF, en el corregimiento de Florencia, Samaná, zona de influencia del volcán El Escondido. El estudio se realizó en seis afluentes de la cuenca del río San Antonio, dos en el exterior del PNNSF: San Antonio La Cabaña "SALC" (5°30'22,2" N, 75°01'28,8" W), San Antonio Encimadas "SAE" (75°00'28,2" N, 5°30'20,3" W). Y cuatro dentro del PNNSF: Las Mercedes "LM" (5°30'31,7"N, 75°02'24,3"W), San Antonio Confluencia "SAC" (75°02'03,8" N, 05°30'16,2" W), Chupaderos

“CHU” (5°29'29,8” N, 75°02'45,6” W) y La Selva “LS” (5°30'52,0” N, 75°02'51,8”W; Fig. 1).

**MUESTREOS DE MACROINVERTEBRADOS**

La recolecta de los macroinvertebrados acuáticos fue realizada por los funcionarios del PNNSF de acuerdo con lo establecido en el Programa de Monitoreo del Parque, durante los meses de septiembre y octubre del 2020. Se hicieron muestreos cuantitativos en los seis afluentes seleccionados, en un gradiente altitudinal entre los 710 m. s. n. m. y los 1486 m. s. n. m. Tomando de referencia la metodología propuesta por Silveira et al. (2004), se realizaron transectos de 100 m en cada afluente. Los afluentes presentaban anchos variables entre 7 y 25 m. Se tomaron muestras de macroinvertebrados acuáticos con red Surber de 30,5 cm x 30,5 cm x 8 cm y ojo de malla de 560 µm, en hojarasca, roca y sedimento fino, cada sustrato con tres repeticiones.

El material recolectado fue depositado en la Colección Entomológica del Programa de Biología de la Universidad de Caldas CEBUC (RNC: 188). La identificación fue realizada a través de las claves taxonómicas para familias y géneros de Posada-García (2003), Domínguez et al. (2006), Domínguez

y Fernández (2009), Roldán Pérez (2012), Gutiérrez y Días (2015), y González-Córdoba et al. (2016).

**PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS**

Se tomaron los parámetros fisicoquímicos en la parte alta, media y baja de cada transecto muestreado por afluente. Las mediciones *in situ* registradas correspondieron a la conductividad, pH, sólidos disueltos y temperatura, tomadas con una sonda multiparamétrica marca Hanna HI. Adicionalmente, se consignaron variables de dinámica fluvial de paisaje y clima.

**ANÁLISIS DE DATOS**

**Índices de diversidad**

Se evaluó la representatividad del muestreo mediante curvas de acumulación de especies, se analizó la distintividad taxonómica de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos con el programa Past versión 4.11, con el fin de evaluar la diversidad taxonómica entre los seis afluentes,

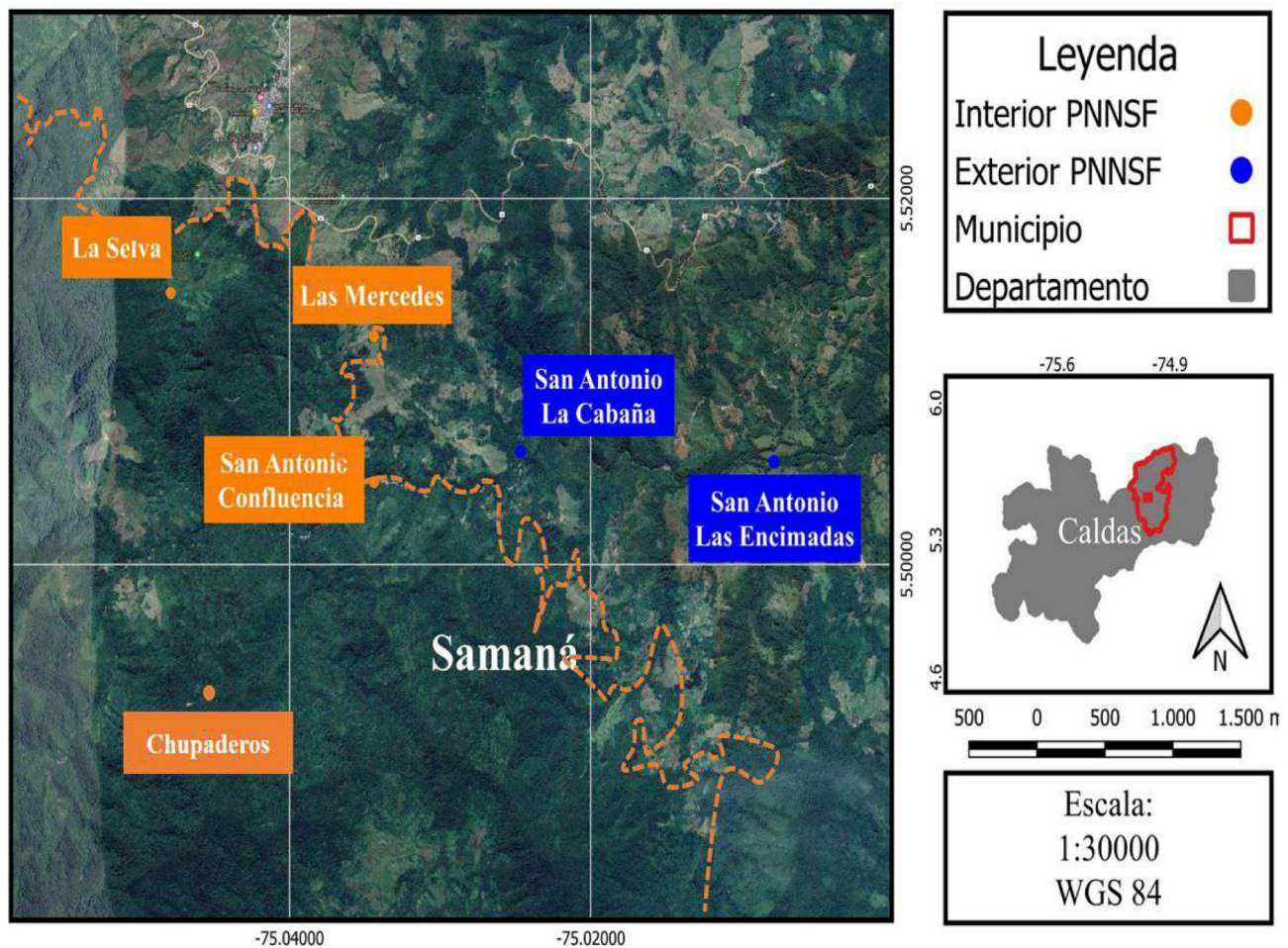


Figura 1. Puntos de muestreo en el Parque Nacional Natural Selva de Florencia, Colombia.

y se realizó el índice de diversidad de orden  $q$  ( $^qD$ ) propuesto por Chao et al. (2014) con los morfotipos de los macroinvertebrados acuáticos recolectados.

### Índice Integridad del Hábitat (IIH)

Basados en el protocolo propuesto por Nessimian et al. (2008), el equipo de PNNSF evaluó las condiciones ambientales de los afluentes muestreados mediante el Índice de Integridad del Hábitat (IIH). Los valores arrojados por este índice se encuentran entre 0 y 1, en donde los valores más bajos indican menor integridad y los más cercanos a 1, mayor integridad (ANLA, 2013).

### Composición y relación con las variables fisicoquímicas

Para evaluar la variación en la composición de especies entre los afluentes muestreados y el IIH se aplicó un Análisis de Coordenadas Principales (ACoP). Posteriormente, para evaluar la relación entre las variables fisicoquímicas tomadas *in situ* y la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, se desarrolló un Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) con los seis afluentes de muestreo.

### Índice de Calidad del Ecosistema Ribereño (QBR)

Para evaluar el nivel de calidad de los bosques de ribera se utilizó el índice QBR propuesto por Acosta et al. (2009); modificado a partir de Munné et al. (1998; 2003). Este índice recoge distintos componentes y atributos de las riberas en cuatro bloques, la puntuación final del índice es el resultado de la suma de la puntuación obtenida en cada uno de los bloques, cuyo resultado no debe ser mayor que 100.

### Índice BMWP

La evaluación de la calidad del agua se realizó a través del índice biótico BMWP, siguiendo la tabla propuesta por Zúñiga y Cardona (2009). Este índice se basa en datos de presencia y ausencia, categorizado hasta nivel de familia, cuyo puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica, siendo 1 el más tolerante a la contaminación y 10 el más sensible. Finalmente, se suman los puntajes de las familias encontradas y el resultado obtenido indica el nivel de calidad de agua.

Todos los análisis estadísticos de este estudio se realizaron en la plataforma R (R Core Team 2019) utilizando el paquete Vegan (Oksanen et al., 2016) y Past 4.08.

## RESULTADOS

Se recolectaron un total de 2894 macroinvertebrados acuáticos, divididos en 13 órdenes, 49 familias, y 77 géneros, entre ellos, los órdenes Ephemeroptera y Trichoptera fueron los más representativos, con una abundancia del 28 % cada uno, seguido de Coleoptera con 17 %, Diptera con 12 %

y Plecoptera con el 11 %. A nivel de géneros, *Anacroneturia* presentó una mayor cantidad de organismos con una abundancia del 10 %, seguido por *Tricorythodes*, *Nectopsyche*, Subfamilia Chironominae, *Americabaetis*, *Smicridea*, *Leptonema* y *Leptohyphes*, que corresponden a un 35 % del total de individuos de las muestras recolectadas.

### Índices de diversidad

El estimador de riqueza ACE mostró que la completitud del muestreo fue de 78,86 %. El índice de distintividad taxonómica, arrojó que la distancia y distintividad taxonómica de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en los seis afluentes fueron similares ( $p$ -valor = 0,7). El afluente con mayor riqueza ( $Q^0$ ) fue LM, con 61 morfotipos agrupados en 49 géneros y 32 familias, seguida de SALC con 57 morfotipos distribuidos en 38 géneros y 28 familias. LS, SAC y CHU presentaron una tendencia similar en la riqueza con 48 morfotipos cada uno.

En cuanto a la abundancia, el mayor número de individuos fue registrado para LM con 603 individuos y LS con 528 individuos, al contrario de CHU que obtuvo la menor abundancia entre todos los sitios evaluados con 329 individuos. Con respecto a la diversidad *per se* ( $Q^1$ ) los mayores valores fueron obtenidos en las quebradas CHU y LM, con 29,18 y 27,69 morfotipos respectivamente, seguido por las quebradas LS, SAC y SALC con 23,74 - 21,97 y 20,43 morfotipos respectivamente. Así mismo, la diversidad de orden  $Q^2$  mostró resultados similares a los anteriores, en el cual, los afluentes CHU y LM reportaron la mayor dominancia con 21,01 y 17,44 morfotipos, respectivamente. La quebrada SAE, ubicada al exterior del PNNSF, fue el afluente que presentó el valor más bajo entre los tres órdenes de diversidad ( $^qD$ ) evaluados (Fig. 2a).

### Evaluación de la integridad del hábitat y calidad del agua

Los resultados del IIH oscilaron entre los 0,65 y 0,86, refiriendo, en general, una “moderada integridad” (rangos entre 0,51 - 0,8) a una “alta integridad de hábitat” (rangos entre 0,8 y 1) en todos los afluentes. Para el Índice QBR los valores fluctuaron entre 65 y 100, indicando un nivel de calidad “buena” a “muy buena”, en donde solamente la quebrada SAE (ubicada en zona de amortiguamiento del PNNSF) estaría en la categoría con nivel de “calidad intermedia”. Por otro lado, la evaluación de calidad del agua mediante el índice BMWP, indicó que los seis afluentes estudiados se encontraron en la misma categoría, con aguas “muy limpias” sin evidencias de contaminación (puntaje superior a 130; Tabla 1).

### Relación de las variables fisicoquímicas con la riqueza y abundancia de macroinvertebrados acuáticos

En el ACoP, los dos primeros ejes explicaron el 59 % de la variación en la composición. El primer componente fue explicado por el 35,75 %, el cual corresponde a las

**Tabla 1.** Índices de integridad ambiental y calidad del agua aplicados en los sitios de estudio. IIH: Índice de Integridad de Hábitat; QBR: Índice de Calidad del Ecosistema Ribereño. \* afluentes fuera del PNNSF. Elaborado a partir de Acosta et al. (2009); Zúñiga y Cardona, (2009); Pinilla-Agudelo et al. (2014).

Afluente	INTEGRIDAD DEL HÁBITAT			CALIDAD DEL AGUA			
	Puntaje	IIH Interpretación	Puntaje	QBR Nivel de Calidad	Puntaje	BMWP Nivel de calidad	
Las Mercedes "LM"	0,8625	Alta integridad del hábitat	100	Calidad muy buena	Vegetación de ribera sin alteraciones	180	Agua muy limpias
Chupaderos "CHU"	0,8138	Alta integridad del hábitat	100	Calidad muy buena	Vegetación de ribera sin alteraciones	170	Agua muy limpias
San Antonio La Cabaña* "SALC"	0,7972	Moderada integridad del hábitat	90	Calidad Buena	Vegetación ligeramente perturbada	168	Agua muy limpias
San Antonio Confluencia "SAC"	0,7763	Moderada integridad del hábitat	85	Calidad Buena	Vegetación ligeramente perturbada	155	Agua muy limpias
La Selva "LS"	0,7583	Moderada integridad del hábitat	85	Calidad Buena	Vegetación ligeramente perturbada	136	Agua muy limpias
San Antonio Encimadas* "SAE"	0,65	Moderada integridad del hábitat	65	Calidad intermedia	Inicio de alteración importante	130	Agua muy limpias

puntuaciones del IIH, y el segundo componente fue explicado por el 23,30 %. Los afluentes LM y CHU presentaron una mayor similitud de morfotipos, y el afluente SAE fue el que presentó una composición disímil en consecuencia del menor valor de integridad obtenido (Fig. 2b). Los afluentes correspondientes a los sitios de San Antonio (SAC, SALC y SAE) presentaron los valores más altos de temperatura, conductividad y concentración de sólidos disueltos. Con una explicación del 75 % de la varianza total, se observó que el primer eje canónico se relacionó positivamente con la conductividad, temperatura y sólidos disueltos, asociándose con el afluente SAE y los géneros *Leptohyphes*, *Smicridea*, *Thraulodes*, *Planariidae* y *Terpides*. Para el segundo eje, se encontró el pH relacionado con el afluente SAC y la presencia de Tipulidae, Ceratopogonidae, *Microcyloepus* y Psephenidae. La composición de las especies en los afluentes CHU, LM y LS no presentaron relación con las variables fisicoquímicas evaluadas. Sin embargo, los organismos asociados en CHU fue Chironomidae, en LM fue *Chloronia*, en LS fue *Hexatoma* y en SALC fue Corixidae.

### Ordenamiento directo de la composición de macroinvertebrados y el IIH

La figura 3a hace referencia a la abundancia relativa de EPT en relación a los valores del IIH, en donde se observó que los géneros *Euthyplocia*, *Haplohyphes* y *Culoptila* estuvieron asociados al afluente (LM) con el valor más alto de integridad ambiental con 0,8625. *Baetodes*, *Thraulodes*, *Anacroneuria* y *Leptohyphes* se encontraron ampliamente distribuidos en los seis afluentes muestreados.

De igual modo, en el gráfico de gradiente directo para el orden Coleoptera (Fig. 3b), se observó que los géneros *Elmoparnus*, *Stegoelmis* y *Microcyloepus*, y la familia Lampyridae, también estuvieron asociados a la quebrada LM. Por otra parte, los géneros *Disersus* y *Pheneps* estuvieron en el afluente

SAE, que presentó una puntuación menor de integridad ambiental con 0,65.

Los demás taxones fueron agrupados de la siguiente forma: *Peripsychoda*, Tipulidae, *Mesovelgia*, y *Perilestes* se presentaron exclusivamente en el afluente LM (Fig. 3c); mientras Chironominae, Tanypodinae y *Corydalus* se ubicaron en todos los afluentes muestreados, independiente del rango de calidad ambiental otorgado por el índice.

### DISCUSIÓN

La alta abundancia de los órdenes Ephemeroptera y Trichoptera, y la sobresaliente cantidad de organismos registrados para el género *Anacroneuria* en este estudio, corroboran los valores altos de integridad de hábitat obtenidos a partir de los índices de integridad (IIH y QBR). Otros estudios realizados en la región Andina, también han documentado la dominancia de estos órdenes en condiciones de calidad de agua "limpias a muy limpias" (Walteros Rodríguez et al., 2016; González et al., 2020). Así mismo, el género *Anacroneuria* se ha caracterizado por presentar una fuerte asociación con la calidad del recurso hídrico y es considerado altamente sensible a los tensores generados por las intervenciones antropogénicas (Zúñiga, 2010).

Sin embargo, en este estudio también fueron registrados en gran abundancia los géneros *Smicridea*, *Leptonema* y *Leptohyphes*, considerados como organismos abundantes y de amplia distribución, relacionados con un considerado grado de tolerancia. Lo anterior puede indicar que estos organismos poseen una mejor capacidad de adaptación a las diferentes condiciones ambientales, y por ende, pueden mantener sus poblaciones incluso en aguas más limpias, o ambientes con indicios de degradación (Nessimian et al., 2008; Zúñiga y Cardona, 2009; Braun et al., 2014).

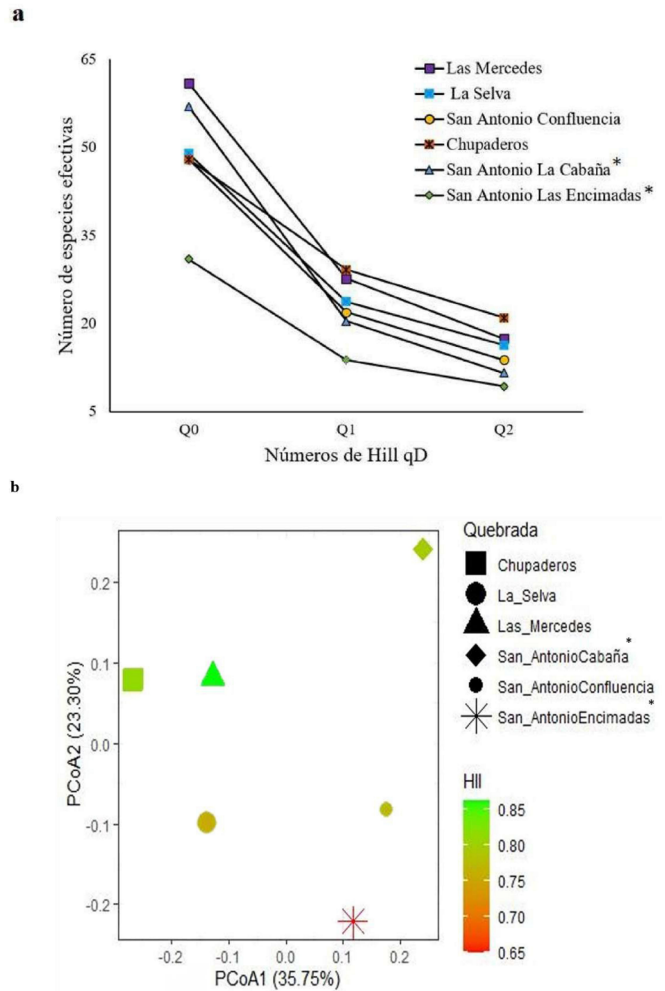


Por otro lado, la mayor riqueza y abundancia encontrada en el afluente LM, no coincidieron con los resultados obtenidos por Orrego-Meza et al. (2020), puesto que encontraron LS como el afluente con la mayor riqueza y abundancia de insectos acuáticos, contrario a este estudio donde la mayor riqueza fue obtenida en LM. Cabe destacar que en los eventos de muestreo de Orrego-Meza et al. (2020), para octubre de 2017 se presentaron fuertes lluvias (promedio de precipitación diaria: 20 mm), mientras que, en el evento de muestreo de este estudio los días fueron más soleados (promedio de precipitación diaria: 15 mm).

Amaya y Donato Rondón (2008), mencionan que los valores muy altos de precipitación no favorecen las comunidades acuáticas, al generar un cambio en las características fisicoquímicas, principalmente en la disminución de la concentración de las sales disueltas. Así mismo, la velocidad de la corriente, la profundidad del caudal y la luz, son determinantes en las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en los sistemas lóticos (Gómez y Gómez, 2015). Esta diferencia posiblemente también es causada por la biología de los insectos, de acuerdo a sus tasas de crecimiento, reproducción, desarrollo y podrían explicar la poca abundancia recolectada de estos investigadores, sin embargo, para determinar su causa real es importante continuar con el monitoreo de las poblaciones acuáticas.

Los resultados obtenidos en el IHH y QBR presentaron una estrecha relación con el índice de diversidad (qD) y el ACoP. Faria et al. (2017), y Meza-S et al. (2020), documentaron cambios en la composición de los macroinvertebrados cuando se presentan alteraciones en su entorno, debido a la disminución o pérdida de taxones considerados sensibles. Lo anterior indica que las quebradas evaluadas en este estudio presentaron características similares en su integridad de hábitat y calidad del agua, a pesar de que SAE presentó los valores más bajos. Sin embargo, no se evidenció un cambio abrupto en la composición de los insectos acuáticos, del cual se esperaba encontrar diferencias marcadas dentro del Parque Natural en relación con la zona de amortiguamiento.

En un estudio realizado por Cambra y Barría (2014) en el Parque Nacional Darién, Panamá, se documentó *Euthyplocia*, *Haplohyphes*, *Elmoparnus*, y la familia Lampyridae asociados a aguas de muy buena calidad. Así mismo, la presencia de *Perilestes* se ha registrado en ambientes acuáticos bien conservados con presencia de vegetación ribereña (Silva et al., 2021). Los géneros anteriormente mencionados también fueron encontrados en el afluente LM, el cual presentó el valor más alto de integridad, y mayor cobertura vegetal. De igual forma, los géneros *Thraulodes* y *Corydalus* encontrados en todos los afluentes muestreados, son considerados insectos acuáticos con una amplia distribución altitudinal, generalmente asociados a ambientes de aguas limpias (Zúñiga y Cardona, 2009; Giacometti, 2019). Estos resultados, respaldan lo encontrado en el presente estudio, ya que los afluentes estudiados presentaron una moderada a

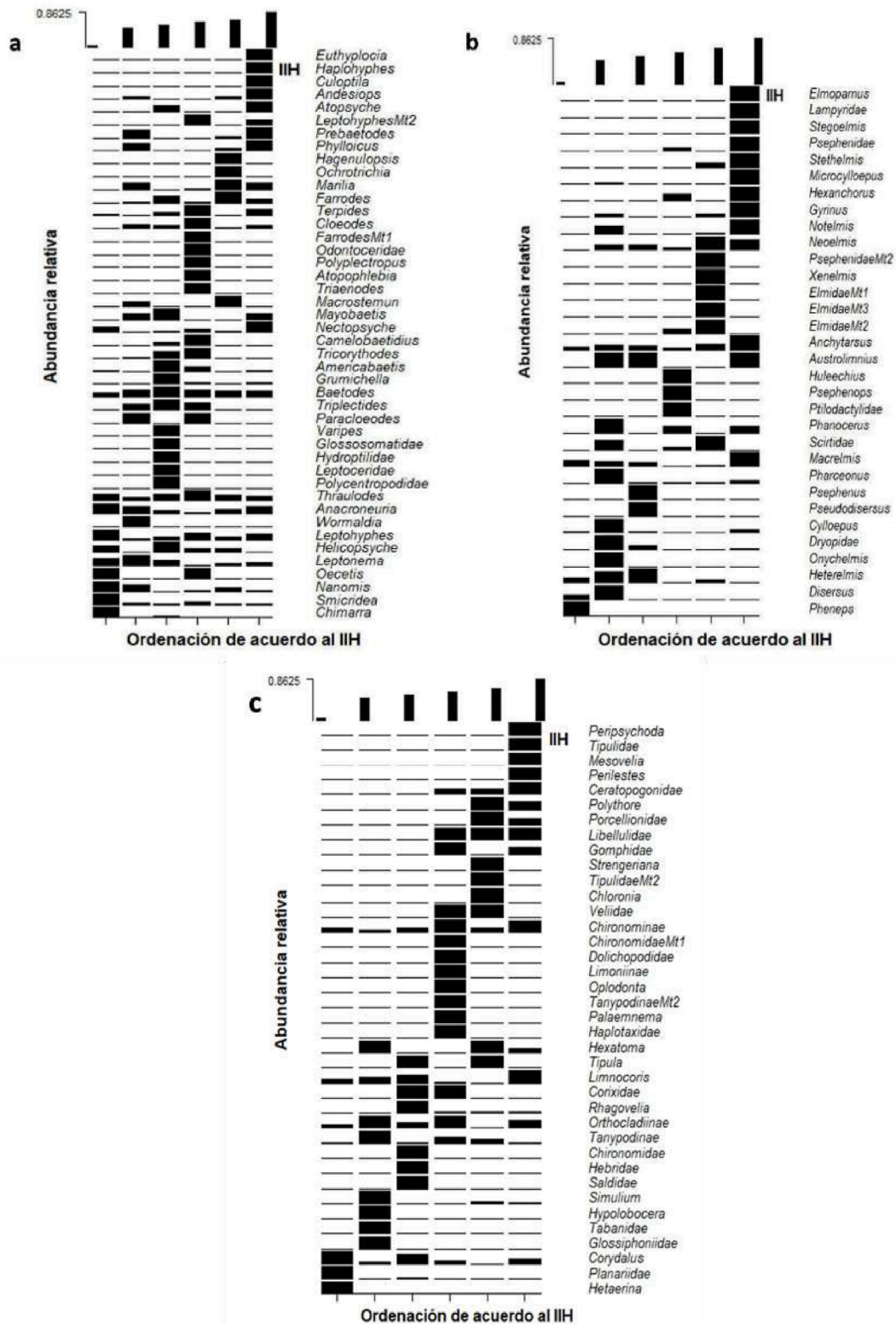


**Figura 2. a)** Perfiles de diversidad de macroinvertebrados acuáticos en afluentes del PNNSF. Q<sup>0</sup>: riqueza de morfotipos, Q<sup>1</sup>: diversidad *per se* y Q<sup>2</sup>: dominancia de morfotipos. **b)** Análisis de coordenadas principales (ACoP, índice Bray-Curtis) para los seis afluentes muestreados, según la composición (familias y géneros) de macroinvertebrados. \*zona de amortiguamiento del PNNSF.

alta integridad, con presencia de organismos sensibles a los cambios ambientales.

Por otro lado, la asociación de *Culoptila*, *Stegoelmis* (presente en LM) y *Disersus* (presente en LS y SAE) con ambientes íntegros es difícil de explicar, porque se conoce poco sobre la biología y distribución de estos grupos (González-Córdoba et al., 2016; Wiggins, 2018). Por ende, no se encontraron estudios que evalúen la posible preferencia de hábitat de estos géneros, siendo este estudio un posible acercamiento de las preferencias en las condiciones de su hábitat.

En cuanto a los valores más altos registrados de temperatura, conductividad y sólidos disueltos asociados a las tres áreas de San Antonio (SAC, SALC y SAE), posiblemente, se encuentre relacionado a que estos sitios presentan una menor cobertura vegetal y los anchos de



**Figura 3.** Abundancia relativa de los morfotipos encontrados en los seis afluentes evaluados, ordenados de acuerdo con los valores de integridad ambiental: **a)** Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera. **b)** Coleoptera. **c)** Diptera, Hemiptera, Megaloptera, Odonata, Haplontaxida, Decápoda, Rhynchobdellida. Las barras de la parte superior representan los afluentes muestreados en base a los valores del IIH. De izquierda a derecha: San Antonio Encimadas (SAE), La Selva (LS), San Antonio Confluencia (SAC), San Antonio La Cabaña (SALC), Chupaderos (CHU) y Las Mercedes (LM).

caudal más grandes (21 m a 25 m). Rubio-M et al. (2016) y Moreno-Jiménez et al. (2017), mencionan la importancia de este ambiente terrestre ribereño en los ecosistemas acuáticos, al desempeñar funciones como: aumento de sombrión, retención de sedimentos, estabilidad en el margen del río, hábitats acuáticos y/o terrestres y el suministro de materia orgánica como alimento para muchos organismos.

La pérdida total o parcial de la vegetación ribereña genera cambios en los componentes fisicoquímicos del ecosistema, al reducirse el aporte de la materia orgánica autóctona, permitir el ingreso de residuos orgánicos y contaminantes. Además, la vegetación ribereña imposibilita la incidencia directa de la luz solar al caudal, que ocasiona el incremento del pH, los sólidos disueltos totales y la conductividad (Villada-Bedoya et al., 2017; Luiza-Andrade et al., 2020). Estos factores tienen una implicación en los organismos acuáticos al originar cambios en su estructura y composición, y consecuentemente una disminución en su diversidad (Braun et al., 2014; Moreno-Jiménez et al., 2017; Bastos et al., 2021). Lo anterior explica, en cierta parte, la menor diversidad de macroinvertebrados acuáticos encontrada en SAE, en donde se registraron los valores más altos en las variables fisicoquímicas (pH, sólidos disueltos totales, conductividad) y los valores más bajos en los índices de integridad aplicados (IIH y QBR).

En relación con los organismos asociados a las variables fisicoquímicas, se encontró que *Smicridea* presentó una asociación con el valor más alto de temperatura (22,7 °C), lo que también fue documentado por Jaimes-Contreras y Granados-Martínez (2016). Mosquera-Murillo y Córdoba-Aragón (2015) encontraron a *Thraulodes* asociado a un pH neutro, baja conductividad y pocos sólidos, sin embargo, en este estudio, a pesar de encontrarse este grupo en todos los sitios evaluados, la mayor cantidad de individuos se presentó en la zona con una conductividad alta (136 ms/cm). Lo anterior podría deberse a que *Thraulodes* está ampliamente distribuido en los ríos de la región Andina, y se trata de un grupo muy diverso que cuenta con al menos 29 especies registradas para Suramérica (Pérez-García y Liria, 2013; Mosquera-Restrepo y Peña-Salamanca, 2019), por lo que es posible que las especies encontradas en nuestro estudio, no sean las mismas encontradas por Mosquera-Murillo y Córdoba-Aragón (2015).

Finalmente, los resultados obtenidos por medio del BMWP, reflejan una calidad de agua similar (aguas muy limpias) para todos los afluentes estudiados, mientras que el IIH y el QBR otorgaron más de una categoría a los afluentes, mostrando posiblemente una mayor sensibilidad ante las variaciones del hábitat. La discrepancia en la clasificación en cuanto a estos índices puede deberse a que el índice BMWP solo tiene en cuenta algunos taxones, puesto que aún no se tiene valores de bioindicación para todos los grupos (Moreno y Gutiérrez, 2019). Además, este índice podría no ser lo suficientemente sensible cuando se presentan

bajas cargas de contaminación, al trabajar con un nivel taxonómico (familia) que alberga a muchos organismos con distinto grado de sensibilización. De esta forma, se recomienda complementar los resultados del BMWP con índices de calidad de hábitat y medidas de diversidad.

## CONCLUSIONES

El número similar de riqueza y abundancia de macroinvertebrados acuáticos encontrado tanto dentro como en la zona de amortiguamiento del PNNSF, es considerado un resultado favorable y positivo para esta área protegida, pues indica que la zona aledaña del PNNSF aún sigue cumpliendo sus funciones en la mitigación de los impactos antropogénicos. Sin embargo, se sugiere aumentar el área de corredores ribereños nativos a lo largo de las quebradas San Antonio, especialmente SAE, la cual se encuentra más susceptible a los impactos generados por la urbanización.

Se resalta la importancia de continuar con las estrategias de monitoreo implementadas en el PNNSF, con el fin de asegurar el sostenimiento de la diversidad biológica y garantizar la protección de sus servicios ecosistémicos en el área.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Grupo Entomológico (GEUC), a la alianza entre la Universidad de Caldas y el Parque Nacional Natural Selva Florencia, que permitió llevar a cabo el desarrollo de este proyecto. Así mismo, agradecemos al equipo de monitoreo e investigación del PNNSF por la toma de datos, la recolecta y envío de las muestras a la Universidad; a Juan Mateo Rivera por la ayuda prestada en la explicación e interpretación de los análisis; a Andrés Camilo Llano por la corroboración taxonómica de algunas muestras, y a Cristhian Londoño Quiceno por la realización del mapa del área de estudio.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

## PARTICIPACIÓN DE AUTORES

Stefany Gil González contribuyó en la escritura y correcciones del manuscrito, análisis de datos e identificación de individuos. Lucimar Gomes Dias dirigió la investigación, apoyó en la escritura del manuscrito y corroboración de la identificación de los Ephemeroptera. Nately Alvis Zapata participó en la identificación de los individuos, y aportó en la introducción. Caterine Rodríguez Hurtado apoyo en la toma de macroinvertebrados acuáticos y revisión del manuscrito.



## REFERENCIAS

- Acosta, C. R., Ríos, B., Rieradevall, M., y Prat, N. (2009). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, 28(1), 35-64.
- Amaya, A., y Donato Rondón. (2008). Colonización de sustratos artificiales por macroinvertebrados: influencia de las variables hidrológicas. *Ecología de un río de montaña de los Andes colombianos (Río Tota, Boyacá)*, Universidad Nacional de Colombia, 167-180.
- ANLA Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (2013). Metodología para la estimación y evaluación del caudal ambiental en proyectos que requieren licencia ambiental. Bogotá D.C
- Bastos, R. C., Brasil, L. S., Oliveira-Junior, J. M. B., Carvalho, F. G., Lennox, G. D., Barlow, J., y Juen, L. (2021). Morphological and phylogenetic factors structure the distribution of damselfly and dragonfly species (Odonata) along an environmental gradient in Amazonian streams. *Ecological Indicators*, 122, 107257.
- Braun, B. M., Pires, M. M., Kotzian, C. B., y Spies, M. R. (2014). Diversity and ecological aspects of aquatic insect communities from montane streams in southern Brazil. *Acta Limnológica Brasiliensis*, 26(2), 186-198. doi.org/10.1590/S2179-975X2014000200009
- Cambra, R. A., y Barría, L. E. (2014). Insectos acuáticos como indicadores de la calidad del agua del río Perresénico, Parque Nacional Darién, República de Panamá. *Scientia*, 24(2), 57-70.
- Chao, A., Gotelli, N. J., Hsieh, T. C., Sander, E. L., Ma, K. H., Colwell, R. K., y Ellison A. M. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: A framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*. 84(1), 45-67. doi.org/10.1890/13-0133.1
- Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., Van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., Farber, S., y Turner, R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global environmental change*, 26, 152-158. doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002
- De Groot, R. S., Fisher, B., Christie, M., Aronson, J., Braat, L., Gowdy, J., Haines-Young, R., Maltby, E., Neuville, A., Polasky, S., Portela, R, y Ring, I. (2010). Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation. *The economics of ecosystems and biodiversity (TEEB): ecological and economic foundations* (pp. 9-40). Earthscan, Routledge.
- Departamento Nacional de Planeación (2021). Documento CONPES 4050: Política para la Consolidación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas-SINAP. Bogotá D.C., Colombia.
- Faria, A. P. J., Ligeiro, R., Callisto, M., y Juen, L. (2017). Response of aquatic insect assemblages to the activities of traditional populations in eastern Amazonia. *Hydrobiologia*. 802(1), 39-51. doi:10.1007/s10750-017-3238-8
- Flotemersch, J. E., Stribling, J. B., y Paul, M. J. (2006). *Concepts and Approaches for the Bioassessment of Non-wadeable Streams and Rivers* (pp. 2-1). Washington, DC: US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development.
- Giacometti, J. C. (2019). Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi. *Boletín Técnico, Serie Zoológica*, 6(2).
- Gómez, M. H., y Gómez, R. (2015). Diversidad de insectos acuáticos asociados a hojarasca en la quebrada Capisucia o El Barrigón en la Ciudad del Árbol, Chilibre, Panamá. *Tecnociencia*, 17(2), 45-53.
- González, I. G., Núñez-Avellaneda, M., y Zúñiga, M. D. C. (2020). Los macroinvertebrados acuáticos de la región andino-amazónica colombiana: Camino Andakí, departamento de Caquetá. *Revista Colombiana Amazónica*, 12, 191-202.
- González-Córdoba, M., Zúñiga, M. D. C., Mosquera-Murillo, Z., y Sánchez-Vásquez, S. P. (2016). Riqueza y distribución de Elmidae (Insecta: Coleoptera: Byrrhoidea) en el departamento del Chocó, Colombia. *Intropica*, 11, 85-95.
- Herrera, A., Echeverry, J. A., Roncancio, N., y Bedoya, J. I. (2015). Programa de Monitoreo Parque Nacional Natural Selva de Florencia. *Parques Nacionales Naturales de Colombia*.
- Herrera, A., Ballesteros, H., Echeverry, J., Rodríguez-Hurtado, C. y Areiza, A. (2020). Plan de Manejo del Parque Nacional Natural Selva de Florencia. *Parques Nacionales Naturales de Colombia*.
- Jacobus, L. M., Macadam, C. R., y Sartori, M. (2019). Mayflies (Ephemeroptera) and their contributions to ecosystem services. *Insects*, 10(6), 170. doi.org/10.3390/insects10060170
- Jaimes-Contreras, A. M., y Granados-Martínez, C. (2016). Tricópteros asociados a siete afluentes de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Revista mexicana de biodiversidad*, 87(2), 436-442. doi.org/10.1016/j.rmb.2015.11.002
- Luiza-Andrade, A., Brasil, L. S., Torres, N. R., Brito, J., Silva, R. R., Maioli, L. U., Barbirato, M. F., Rolim, S. G., y Juen, L. (2020). Effects of local environmental and landscape variables on the taxonomic and trophic composition of aquatic insects in a rare forest formation of the Brazilian Amazon. *Neotropical Entomology*, 49(6), 821-831.
- Meza-S, A. M., Guevara, G., G-Dias, L., y Cultid-Medina, C. A. (2020). Density and diversity of macroinvertebrates in Colombian Andean streams impacted by mining, agriculture and cattle production. *PeerJ*, 8, e9619.
- Moreno, Y. M., y Gutiérrez, A. F. E. (2019). Los macroinvertebrados acuáticos y la calidad biológica del agua en una quebrada andina, Antioquia-Colombia.

- Revista Politécnica*, 15(29), 65-81. doi.org/10.33571/rpolitec.v15n29a6
- Moreno-Jiménez, V., Castillo-Acosta, O., Gama-Campillo, L., Zavala-Cruz, J., y Ortiz-Pérez, M. A. (2017). Relación de vegetación ribereña y propiedades del suelo en un afluente del río Tacotalpa, Tabasco, México. *Madera y bosques*, 23(1), 91-109. doi.org/10.21829/myb.2017.231510
- Mosquera-Murillo, Z., y Córdoba-Aragón, K. E. (2015). Caracterización de la entomofauna acuática en cuatro quebradas de la cuenca del río San Juan, Chocó, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 39(150), 67-76.
- Mosquera-Restrepo, D., y Peña-Salamanca, E. J. (2019). “Ensamblaje” de macroinvertebrados acuáticos y su relación con variables fisicoquímicas en un río de montaña en Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 67(6), 1235-1246. doi.org/10.15517/rbt.v67i6.30842
- Munné, A., Sola, C., y Prat, N. (1998). QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera. *Tecnología del agua*, 175, 20-37.
- Munné, A., Prat, N., Sola, C., Bonada, N., y Rieradevall, M. J. A. C. M. (2003). A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams. QBR index. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 13, 147-164.
- Muñoz, E., Mendoza, G., y Valdovinos, C. (2001). Evaluación rápida de la biodiversidad en cinco sistemas lénticos de Chile central: macroinvertebrados bentónicos. *Gayana (concepción)*, 65(2), 173-180. doi.org/10.4067/S0717-65382001000200009
- Nessimian, J. L., Venticinque, E. M., Zuanon, J., De Marco Jr, P., Gordo, M., Fidelis, L., D’arc Batista, J., y Juen, L. (2008). Land use, habitat integrity, and aquatic insect assemblages in Central Amazonian streams. *Hydrobiologia*, 614(1), 117-131. doi:10.1007/s10750-008-9441-x.
- Orrego-Meza, J. G., Hernández-Cortés, I. C., Marulanda-López, J. F., Rivera-Pérez, J. M., Viteri-Delgado, J. P., Franco-Torres, M., Llano-Arias y G-Dias, LG. (2020). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en el Parque Nacional Natural Selva de Florencia, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 44(171), 560-571. doi.org/10.18257/raccefyn.1027
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O’hara, R. B., y Wagner, H. (2016). Community ecology package. *R package version 2.4-0*.
- Pérez-García, B., y Liria, J. (2013). Modelos de nicho ecológico fundamental para especies del género *Thraulodes* (Ephemeroptera: Leptophlebiidae: Atalophlebiinae). *Revista mexicana de biodiversidad*, 84(2), 600-611. doi.org/10.7550/rmb.32234
- Pinilla-Agudelo, G.A., Rodríguez-Sandoval, E.A. y Camacho-Botero, L.A. (2014). Propuesta metodológica preliminar para la estimación del caudal ambiental en proyectos licenciados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Colombia. *Acta biol. Colomb.* 19(1):43-60.
- Raitif, J., Plantegenest, M., y Roussel, J-M. (2019). From stream to land: Ecosystem services provided by stream insects to agriculture. *Agriculture, ecosystems & environment*, 270, 32-40. doi.org/10.1016/j.agee.2018.10.013
- Rodríguez, N., Armenteras, D., Morales, M., y Romero, M. (2006). Ecosistemas de los Andes Colombianos. *Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*, (pp.154) Bogotá, Colombia.
- Rubio-M, J., Meza-S, A. M., y G-Dias, L. (2016). Colonización de macroinvertebrados acuáticos en hojas de *Miconia* sp. y *Eucalyptus* sp. en la subcuenca alta del río Chinchiná, Colombia. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 20(2), 45-56. doi.org/10.17151/bccm.2016.20.2.4
- Sabater, S., Donato, J.C., Giorgi, A., Elosegi, A (2009). El río como ecosistema en Elosegi, A y Sabater, S (Eds.), *Conceptos y técnicas en ecología fluvial* (pp.23-37). Fundación BBVA.
- Silva, L. F. R., Castro, D. M. P., Juen, L., Callisto, M., Hughes, R. M., y Hermes, M. G. (2021). Functional responses of Odonata larvae to human disturbances in neotropical savanna headwater streams. *Ecological Indicators*, 133, 108367.
- Silveira, M. P., Queiroz, J. F., y Boeira, R. C. (2004). Protocolo de Coleta e Preparação de Amostras de Macroinvertebrados Bentônicos em Riachos. *Embrapa Meio Ambiente* (pp. 7).
- Villada-Bedoya, S., Ospina-Bautista, F., G-Dias, L., y 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.
- Walteros Rodríguez, J. M., Castaño Rojas, J. M., y 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.
- Wiggins, G. (2018). Larvae of the North American Caddisfly Genera (Trichoptera) (pp. 50-66). In *Larvae of the North American Caddisfly Genera (Trichoptera)*. University of Toronto Press.
- Zúñiga, M. D. C., y Cardona, W. (2009). Bioindicadores de calidad de agua y caudal ambiental. *Caudal ambiental: conceptos, experiencias y desafíos*, 1, 176-200.
- Zúñiga, M. D. C. (2010). Diversidad, distribución y ecología del orden Plecoptera (Insecta) en Colombia, con énfasis en Anacroneuria (Perlidae). *Momentos de Ciencia*, 7(2), 101-112.