

<https://doi.org/10.15517/9ee7n610>

Diversidad de dípteros acuáticos (Insecta: Diptera) en una cuenca altoandina de Tolima, Colombia

Liceth Ximena Ramirez-Palma^{1*};  <https://orcid.org/0009-0005-4727-0301>

Mayra Geraldine Rojas-Céspedes¹;  <https://orcid.org/0000-0003-3592-0483>

Gladys Reinoso-Florez¹;  <https://orcid.org/0000-0003-2002-1645>

1. Grupo de Investigación en Zoología (GIZ), Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima, Altos de Santa Helena, Ibagué, Colombia; lxr Ramirezp@ut.edu.co (*Correspondencia), mgrojasc@ut.edu.co, greinoso@ut.edu.co

Recibido 31-VII-2025. Corregido 15-X-2025. Aceptado 20-I-2026.

ABSTRACT

Diversity of aquatic Diptera (Insecta: Diptera) in a high-Andean watershed of Tolima Colombia

Introduction: Aquatic dipterans are key components of mountain lotic ecosystems due to their diversity, ecological sensitivity, and bioindicator value. The Combeima River Basin (Tolima, Colombia) is a high-Andean basin essential for water supply, but it is affected by anthropogenic pressures.

Objective: To expand knowledge on the diversity and abundance of aquatic dipterans along the Combeima River Basin (Ibagué, Tolima) during contrasting hydrological periods.

Methods: Three samplings were conducted over an annual hydrological cycle (September 2022, June and September 2023), covering both the dry and rainy seasons. Five samples were taken at each station using three different sampling methods: Surber net (on sediment, rock, and leaf-litter substrates), screen net, and sieves. All samples were pooled into a unique sample for data treatment. Larvae were separated, preserved, and identified using available taxonomic keys; for Chironomidae, clearing and mounting techniques were applied, considering different diagnostic characters for identification. Diversity was estimated using Hill numbers and rarefaction curves. NMDS and ANOSIM analyses were applied to explore community patterns.

Results: A total of 1 586 larvae belonging to 11 families and 28 genera were collected. Chironomidae were the most abundant (74.56 %), followed by Simuliidae (15.76 %) and Blepharoceridae (6.24 %). In contrast, Dolichopodidae, Dixidae, and Stratiomyidae were scarce, with only four, two, and one individual recorded per family, respectively. Differences in richness and dominance were observed among stations and periods, related to altitude and anthropogenic disturbances. NMDS showed grouping by station, with greater heterogeneity in impacted sites.

Conclusions: Aquatic dipteran communities reflected the combined influence of natural environmental factors and anthropogenic disturbance. A progressive replacement of sensitive by tolerant genera was observed, indicating a clear ecological tolerance gradient and reinforcing their value as bioindicators of environmental quality. These findings provide a robust ecological baseline for future monitoring and conservation programs in high-Andean microbasins.

Key words: assemblage; aquatic macroinvertebrates; Colombia; highmountain; hydrological cycle; lotic systems; Neotropics.



RESUMEN

Introducción: Los dípteros acuáticos son clave en ecosistemas lóticos de montaña por su diversidad, sensibilidad ecológica y valor bioindicador. La cuenca del río Combeima (Tolima, Colombia) es una cuenca altoandina esencial para el abastecimiento hídrico, pero afectada por presiones antrópicas.

Objetivo: Ampliar la información sobre la diversidad y abundancia de dípteros acuáticos a lo largo de la cuenca del río Combeima (Ibagué, Tolima), durante periodos hidrológicos contrastantes.

Métodos: Se realizaron tres muestreos a lo largo de un ciclo hidrológico anual (septiembre de 2022, junio y septiembre de 2023), abarcando tanto época seca como la lluviosa. Se tomaron cinco muestras en cada estación utilizando tres metodologías de muestreo diferentes: red Surber (en sustratos de sedimento, roca y hojarasca), red pantalla y tamices. Todas las muestras se agruparon en una muestra única para el tratamiento de datos. Las larvas se separaron, preservaron e identificaron mediante claves taxonómicas; en Chironomidae se aplicaron técnicas de transparentación y montaje, teniendo en cuenta diferentes caracteres diagnósticos para su identificación. La diversidad se estimó mediante números de Hill y curvas de rarefacción. Se aplicó un análisis NMDS y ANOSIM para explorar patrones comunitarios.

Resultados: Se recolectaron 1 586 larvas pertenecientes a 11 familias y 28 géneros. Chironomidae fue la más abundante (74.56 %), seguida de Simuliidae (15.76 %) y Blepharoceridae (6.24 %). Por el contrario, las familias Dolichopodidae, Dixidae y Stratiomyidae presentaron las menores abundancias, registrándose solo cuatro, dos y un individuo por familia respectivamente. Se observaron diferencias de riqueza y dominancia entre estaciones y épocas, relacionadas con la altitud y perturbaciones antrópicas. El NMDS mostró agrupamientos por estación, con mayor heterogeneidad en sitios intervenidos.

Conclusiones: Las comunidades de dípteros acuáticos reflejaron la influencia combinada de factores naturales y del grado de perturbación antrópica. Se observó un reemplazo progresivo de géneros sensibles por tolerantes, lo que evidencia un gradiente de tolerancia ecológica y refuerza su valor como bioindicadores de la calidad ambiental. Estos resultados aportan una línea base sólida para programas de monitoreo ecológico y conservación de microcuencas altoandinas.

Palabras clave: ensamblaje; macroinvertebrados acuáticos; Colombia; alta montaña; ciclo hidrológico; sistemas lóticos; Neotrópico.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de agua dulce representan solo el 0.01 % del agua del planeta, y albergan cerca del 6 % de todas las especies identificadas (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2018). No obstante, estos sistemas han sufrido una acelerada pérdida de biodiversidad, con un declive del 84 % en las poblaciones de especies de agua dulce desde 1970 (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2020). Los ecosistemas lóticos de alta montaña del Neotrópico se caracterizan por su alta heterogeneidad ambiental, complejidad estructural y marcada estacionalidad hidrológica, factores que influyen directamente en la composición, distribución y dinámica de los macroinvertebrados acuáticos (Prat et al., 2014) En este contexto, los macroinvertebrados acuáticos, y en particular los insectos del orden Diptera, se han consolidado como bioindicadores eficientes de

la calidad del agua (Bravo-Chaves & Restrepo-Franco, 2021), pues su amplia plasticidad ecológica, junto con la variabilidad en tolerancia a las condiciones de perturbación, les confiere un alto valor como indicadores biológicos de calidad ambiental (Rodríguez-Rodríguez et al., 2021). Los dípteros cumplen funciones esenciales en los ecosistemas lóticos, actuando como transformadores de materia orgánica, eslabones tróficos y, en algunos casos, vectores de enfermedades (Rodríguez-Rodríguez et al., 2021; Rojas-Céspedes et al., 2018). El problema es que en los trabajos de biomonitoring habitualmente se identifican solo a nivel de familia, con lo cual se pierde mucha información biológica y por ello su uso como bioindicadores es poco relevante. Estudios recientes en Colombia han mostrado una riqueza taxonómica mayor de la esperada para este grupo, lo que refuerza la necesidad de ampliar el conocimiento sobre su diversidad y su posible uso como bioindicadores (Mosquera-Murillo & Sánchez-Vázquez,

2019). Por ejemplo, en la cuenca del río Combeima (Tolima-Colombia) se han documentado las relaciones entre géneros de Chironomidae y la calidad del agua en quebradas del río Combeima (Rojas-Céspedes et al., 2023), y se ha demostrado la importancia de su clasificación por lo menos hasta género para explorar su capacidad como bioindicadores. Diversos estudios han mostrado el valor de los dípteros, especialmente Chironomidae, como indicadores de calidad del agua y de cambios ambientales en sistemas loticos tropicales y templados (Molineri et al., 2020; Nicacio & Juen, 2015; Prat & Castro-López, 2023).

La cuenca del río Combeima es un sistema hidrográfico fundamental en la región andina central de Colombia, ya que abastece aproximadamente el 80 % del agua potable de la ciudad de Ibagué. A su vez es afluente del río Coello, el cual sostiene actividades agrícolas, ganaderas y poblacionales en el suroriente del departamento del Tolima (Duarte-Ramos & Reinoso-Flórez, 2020). En ese sentido, esta cuenca constituye un afluente estratégico, cuya salud ambiental es esencial para la sostenibilidad de estos servicios. Sin embargo, se encuentra expuesta a presiones antrópicas como la agricultura, el turismo y la urbanización, lo que hace urgente su monitoreo y conservación. Este estudio amplía la información sobre la diversidad y abundancia de larvas de dípteros acuáticos a lo largo de la Cuenca del Río Combeima (Ibagué, Tolima), durante periodos hidrológicos contrastantes. Nuestras hipótesis son: La composición y estructura de las comunidades de dípteros acuáticos en la cuenca del río Combeima están determinadas tanto por factores ambientales (como la altitud y el caudal) como por el grado de perturbación antrópica. Se espera que la diversidad disminuya y que ciertos géneros tolerantes dominen en los sitios más impactados, mientras que las zonas conservadas presenten mayor riqueza y presencia de géneros asociados a mejores condiciones ambientales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: La cuenca del río Combeima se ubica entre los 1 860 y los 2 040 m.s.n.m., en la vertiente oriental de la Cordillera Central, dentro de las zonas de vida Bosque Muy Húmedo Premontano y Bosque Húmedo Montano Bajo (Quimbayo-Díaz et al., 2023; Rojas-Céspedes et al., 2024). El clima es templado frío, con temperatura media entre 12 y 18 °C, precipitaciones anuales cercanas a 2 000 mm y régimen bimodal (Corporación Autónoma Regional del Tolima, 2006). La estudiada cuenca aporta el 11.6 % del caudal del río Combeima y abastece el 80 % del agua potable del municipio. Presenta presión antrópica por ganadería, agricultura, turismo y urbanización (Rojas-Céspedes et al., 2024). Para determinar el grado de alteración antrópica de cada estación se aplicó el protocolo CERA-S (Encalada et al., 2011), que evalúa la calidad hidromorfológica del cauce y la zona ribereña teniendo en cuenta características como la cobertura vegetal, conectividad, naturalidad del canal y presencia de residuos.

El estudio se realizó en dos áreas de muestreo en la cuenca del río Combeima. La primera área de muestreo fue la quebrada Las Perlas (4°34'01" N & 75°19'09" W), que se encuentra entre 1 000 a 3 000 m.s.n.m. y constituye un afluente importante del río principal; representa la parte alta de la cuenca. La segunda área de muestreo incluyó el cauce principal del Río Combeima (4°31'09" N & 75°18'31" W); se localiza entre 1 000 a 1 800 m.s.n.m., antes y después de su paso por los corregimientos de Juntas y de Villa Restrepo (Fig. 1). Se realizaron tres muestreos a lo largo del ciclo hidrológico: M1 (septiembre 2022, lluvias), M2 (junio 2023, seca) y M3 (septiembre 2023, lluvias); en los tres muestreos se seleccionaron cuatro puntos de muestreo: Aguas Arriba Perlas (AAP) (1 234 m.s.n.m.), Aguas Abajo Perlas (ABP) (1 831 m.s.n.m.), Aguas Arriba Villa Restrepo

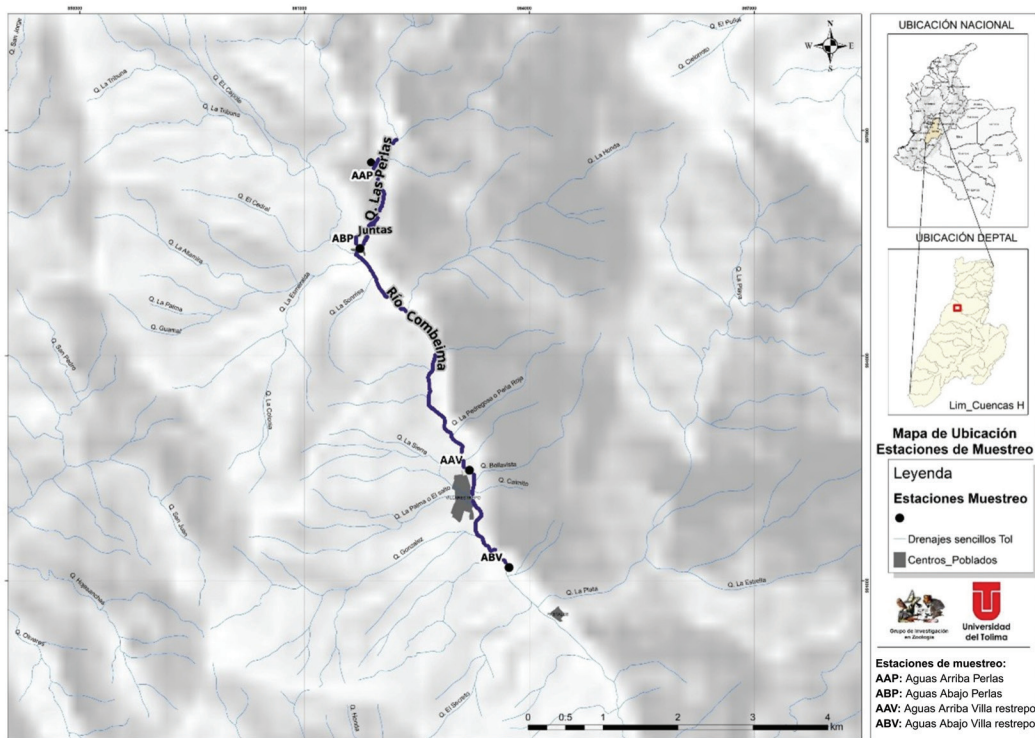


Fig. 1. Estaciones de muestreo; Aguas Arriba Perlas (AAP), Aguas Abajo Perlas (ABP), Aguas Arriba Villa Restrepo (AAV), Aguas Abajo Villa Restrepo (ABV), en la cuenca del río Combeima, Tolima-Colombia. / **Fig. 1.** Sampling stations; Upstream Perlas (AAP), Downstream Perlas (ABP), Upstream Villa Restrepo (AAV), and Downstream Villa Restrepo (ABV), in the Combeima River watershed, Tolima, Colombia.

(AAV) (1 664 m.s.n.m.) y Aguas Abajo Villa Restrepo (ABV) (1 597 m.s.n.m.). Para caracterizar las condiciones hidromorfológicas y el grado de perturbación de cada estación se aplicó el Protocolo Simplificado para la Evaluación de la Calidad Ecológica de Ríos Andinos (CERA-S; Encalada et al., 2011). Teniendo en cuenta parámetros como la vegetación ribereña, la continuidad y conectividad de la ribera, la presencia de basuras, naturalidad del canal y la heterogeneidad del hábitat, asignando valores de uno (condición muy alterada) a cinco (condición natural). Estos valores permitieron establecer un gradiente de perturbación desde zonas más conservadas hasta áreas con fuerte influencia antrópica. Las estaciones AAP Y ABP presentaron una mejor calidad hidromorfológica (31 y 21 puntos respectivamente), estas estaciones tienen una mayor cobertura

vegetal, dominada por bosque secundario, estas estaciones se encuentran en la parte alta de la cuenca, tienen un mayor caudal y corriente, además presentan una menor influencia antrópica directa, por otra parte las estaciones AAV y ABV mostraron condiciones degradadas (14 puntos cada una), se localizaron en sectores con mayor presión por actividades agrícolas y turísticas, además presentaron una cobertura ribereña menor que las estaciones anteriores y zonas de corriente más lenta. El ancho de los cauces varió entre 12 y 18 m, con profundidades medias de 32-46 cm.

Trabajo de campo: Las larvas de dípteros acuáticos se recolectaron en el marco de un proyecto del Grupo de Investigación de Zoología (GIZ) de la Universidad del Tolima, Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima

(Ibagué, Colombia). Se emplearon en todas las estaciones tres metodologías de muestreo, redes tipo Surber (0.09 m², poro 150 µm) aplicadas sobre sustratos de sedimento, roca y hojarasca, red de pantalla (500 µm) utilizada en zonas de corriente más profunda o con vegetación ribereña y recolectas manuales con tamices (poro entre 150-500 µm), lo que permitió registrar organismos presentes en microhábitats de difícil acceso para la red, se realizaron cinco mediciones para cada estación utilizando estas tres técnicas y las muestras obtenidas se agruparon en una única muestra compuesta por cada estación, posteriormente se fijaron en etanol al 70 % y se procesaron en laboratorio.

Trabajo de laboratorio: Las muestras se separaron y se preservaron en etanol al 70 %. La identificación de los dípteros se realizó hasta el nivel de género, empleando las claves de Roldán-Pérez (1998), Sundermann et al. (2007), Coscarón & Cascarón-Arias (2007) y Fusari et al. (2018). En el caso de Chironomidae se realizó mediante micro-preparados aplicando técnicas de transparentación con KAOH al 10 % y lavados sucesivos con ácido acético y alcohol a diferentes concentraciones (70, 96 y 99 %), para así realizar el montaje de placas de acuerdo con la metodología planteada por Epler (2001). Las larvas fueron montadas en glicerina para observar caracteres diagnósticos como el mentón, mandíbula, antenas y manchas oculares. Se utilizaron las claves de Epler (2001), Domínguez & Fernández (2009), Trivinho-Strixino (2011), Prat et al. (2011) y Laurindo-daSilva et al. (2018).

Análisis de datos: Se organizó una matriz por estación (AAP, ABP, AAV, ABV) y los tres muestreos (M1 a M3), utilizando la abundancia total por género como unidad de análisis. Las muestras obtenidas en cada estación mediante las tres metodologías de muestreo se agruparon para formar una muestra compuesta por estación y muestreo, de esta manera, los valores analizados representan la abundancia total de organismos recolectados en cada estación y muestreo.

La riqueza taxonómica y suficiencia del muestreo se evaluó mediante una curva de acumulación, relacionando los géneros observados con las muestras obtenidas en cada estación y muestreo, aplicando los estimadores basados en datos de abundancia como lo son Chao 1, ACE y Cole (Medina et al., 2012) mediante el software EstimateS 9.1.

Posteriormente se estimó la composición de la comunidad de dípteros, la abundancia relativa y la diversidad mediante los números de Hill ($q = 0, 1$ y 2), que corresponden respectivamente a la riqueza de géneros ($q = 0$), la diversidad de Shannon ($q = 1$) y la dominancia de Simpson ($q = 2$). Esto permitió evaluar simultáneamente la riqueza, equidad y dominancia dentro de las comunidades, lo que facilitó la comparación entre estaciones con distintos grados de perturbación reduciendo sesgos asociados al uso de índices independientes. Los cálculos se realizaron mediante el programa R (versión 3.2.5) y los paquetes “Vegan” (Oksanen et al., 2022) e “iNEXT” (Hsieh et al., 2020). Finalmente, la estructura del ensamblaje se analizó mediante la ordenación NMDS basada en la disimilitud de Bray-Curtis y con la prueba ANOSIM, realizadas con el software PRIMER 7 para visualizar los patrones de agrupamiento espacial y los gradientes ecológicos entre estaciones.

RESULTADOS

Composición general y aspectos ecológicos: En las estaciones evaluadas en la cuenca del río Combeima se registraron un total de 1 586 larvas de la orden díptera, pertenecientes a 11 familias y 28 géneros (Tabla 1). La familia más abundante fue Chironomidae, distribuida en tres subfamilias (Chironominae, Orthocladiinae y Tanyptodinae), con 1 183 larvas (74.56 %), siendo *Cricotopus* (35.18 %) y *Polypedilum* (28.44 %) los géneros más abundantes. La familia Simuliidae ocupó el segundo lugar en abundancia con el género *Simulium* (15.74 %). Blepharoceridae fue la tercera familia más abundante, constituida por los géneros

**Tabla 1**

Composición taxonómica y abundancia relativa (% AR) de los dípteros acuáticos de la cuenca del Río Combeima, recolectados en las cuatro estaciones. / **Table 1.** Taxonomic composition and relative abundance (% RA) of aquatic Diptera from the Combeima River watershed, collected at the four sampling stations.

Familias	Subfamilia	Muestrros	Géneros	M1				M2				M3				Total	%AR
				AAP	AAV	ABP	ABV	AAP	AAV	ABP	ABV	AAP	AAV	ABP	ABV		
Blepharoceridae	Blepharocerinae		<i>Limonicola</i>	21	6	8	1	5	2	39			1	5	3	91	5.74
			<i>Paltostoma</i>	1	2	3				2							8
Ceratopogonidae	Ceratopogoninae		<i>Alluaudomyia</i>											1	1	0.06	
	Forcipomyiinae		<i>Atrichopogon</i>	3											3	0.19	
Chironomidae	Tanypodinae		<i>Alotanypus</i>				1		1						2	0.13	
			<i>Pentaneura</i>	2	4					1		1	1	1	10	0.63	
	Orthocladinae		<i>Corynoneura</i>	4		8				1				1	14	0.88	
			<i>Cricotopus</i>	24	24	8	19	4	1	11	3	16	199	85	164	558	35.18
			<i>Onconeura</i>	2		1	2	1		2		7	19	21	25	80	5.04
	Chironominae		<i>Parametrioconemus</i>			1	1			1		1		42	46	2.90	
			<i>Harnishia</i>										2		2	0.13	
			<i>Polypedilum</i>	10	14	18	4	3	20	6	84	13	50	42	187	451	28.44
			<i>Rheotanytarsus</i>										5	3	7	15	0.95
			<i>Paratanytarsus</i>										1			1	0.06
			<i>Saetheria</i>											4		4	0.25
			<i>Dixella</i>											1	1	2	0.13
	Dolichopodidae	Hydrophorinae		<i>Aphrosylus</i>						1					1	2	0.13
Raphiinae			<i>Rhapium</i>						1					1	2	0.13	
Empididae	Hemerodromiinae		<i>Chelifera</i>	4	1	4	1	2		3	1		1	1	4	22	1.39
			<i>Hemerodromia</i>			1								1	2	0.13	
Muscidae	Coenosiinae		<i>Limmophora</i>	2									3	5	0.32		
			<i>Lispe</i>						1		1			2	0.13		
Psychodidae	Psychodinae		<i>Clognia</i>				1	2		1				4	0.25		
			<i>Maruina</i>			1		1	1					3	0.19		
Simuliidae			<i>Simulium</i>	50	16	45	4	7	16	18		1	36	22	35	250	15.76
Stratiomyidae	Stratiomyinae		<i>Odontomya</i>			1									1	0.06	
Tipulidae	Tipulinae		<i>Limonia</i>						1						1	0.06	
			<i>Tipula</i>			1			1				2		4	0.25	
Total				324				246				1016				1586	100

Limonicola (5.74 %) y *Paltostoma* (0.50 %) (Tabla 1).

Representatividad del muestreo: En los estimadores de riqueza se registró un total de 29 géneros observados (Sobs) en las cuatro estaciones evaluadas. Según los estimadores de riqueza, el valor esperado fue ligeramente mayor, Chao1 estimó 31 géneros y ACE 34 géneros. Lo que significa que la riqueza observada correspondió al 94 % de la estimación de

chao y al 85 % de la estimación de ACE. Esto indica que el esfuerzo de muestreo fue adecuado para los fines perseguidos (Fig. 2).

Números de Hill: Estos análisis mostraron patrones contrastantes entre estaciones y periodos de muestreo, reflejando diferencias en riqueza, equitatividad y dominancia de géneros. Durante el primer muestreo (M1, época lluviosa), se observaron valores contrastantes entre estaciones. En el orden $q = 0$, ABP presentó la

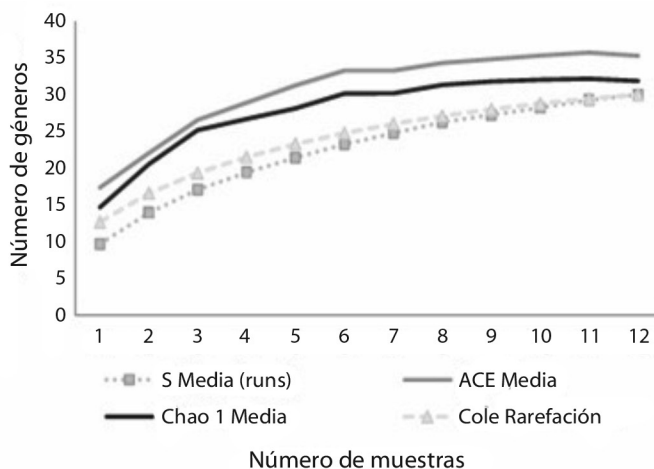


Fig. 2. Estimación de la riqueza del orden Diptera en cuatro estaciones durante un ciclo hidrológico en la cuenca del río Combeima (Tolima-Colombia). / **Fig. 2.** Estimation of Diptera richness at four sampling stations during a hydrological cycle in the Combeima River watershed (Tolima, Colombia).

mayor diversidad observada, con 14 géneros, seguida por AAP y ABV (11 y 9 géneros). AAV registró la menor riqueza con siete géneros. Respecto a $q = 1$ y $q = 2$, no se observó diferencias significativas entre las estaciones de estudio, esto debido a que los intervalos de confianza y las curvas de rarefacción e interpolación, se solapan en todas las estaciones de muestreo; sin embargo, cabe resaltar que la estación con mayor número de géneros más probables ($q = 1$) en las cuatro estaciones evaluadas para este muestreo, fue la estación ABP y la estación con mayor número de especies dominantes ($q = 2$) fue AAV. En el segundo muestreo (M2, época seca), la estación que presentó mayor número efectivo de géneros ($q = 0$) fue ABP, seguida por AAV, AAP y ABV. Las estaciones tuvieron un comportamiento similar en cuanto a $q = 1$ y 2 , siendo AAP la estación con mayor número de géneros más probables y dominantes, seguida por ABP, AAV y ABV. Para el tercer muestreo (M3, época lluviosa), los valores de diversidad presentaron patrones de solapamiento entre estaciones, particularmente entre AAP, AAV y ABP, prueba de una comunidad más homogénea. En $q = 0$, ABP registró la mayor riqueza observada, y mantuvo este patrón también en $q = 1$ y $q = 2$, lo que indica una comunidad más estructurada y equitativa (Fig. 3).

El uso de los números de Hill permitió comparar de manera integrada la riqueza y estructura de las comunidades, expresando la diversidad como número efectivo de géneros, lo que facilita su interpretación ecológica y su comparación entre ambientes con distintos grados de perturbación (Chao et al., 2014; Jost, 2006).

Ensamblaje de los géneros registrados:

El ordenamiento NMDS arrojó cuatro agrupamientos asociados entre sí a nivel espacial en el diagrama (Fig. 4), con un valor en el STRESS o valor de tensión de 0.14, lo cual indica una representación adecuada de los datos en el espacio bidimensional. Los ejes NMDS1 y NMDS2 no representan variables ambientales específicas, sino gradientes de composición de la comunidad de dípteros derivados de la disimilitud de Bray-Curtis entre las muestras. Se evidenció un solapamiento parcial entre las estaciones AAP, ABP y AAV, lo que indica cierta similitud en la composición de géneros entre estos sitios. En contraste, ABV se diferenció con mayor claridad, indicando una composición particular de la comunidad en este sitio. Esta diferenciación espacial coincide con las variaciones observadas en la calidad hidromorfológica según el protocolo CERA-S (Encalada

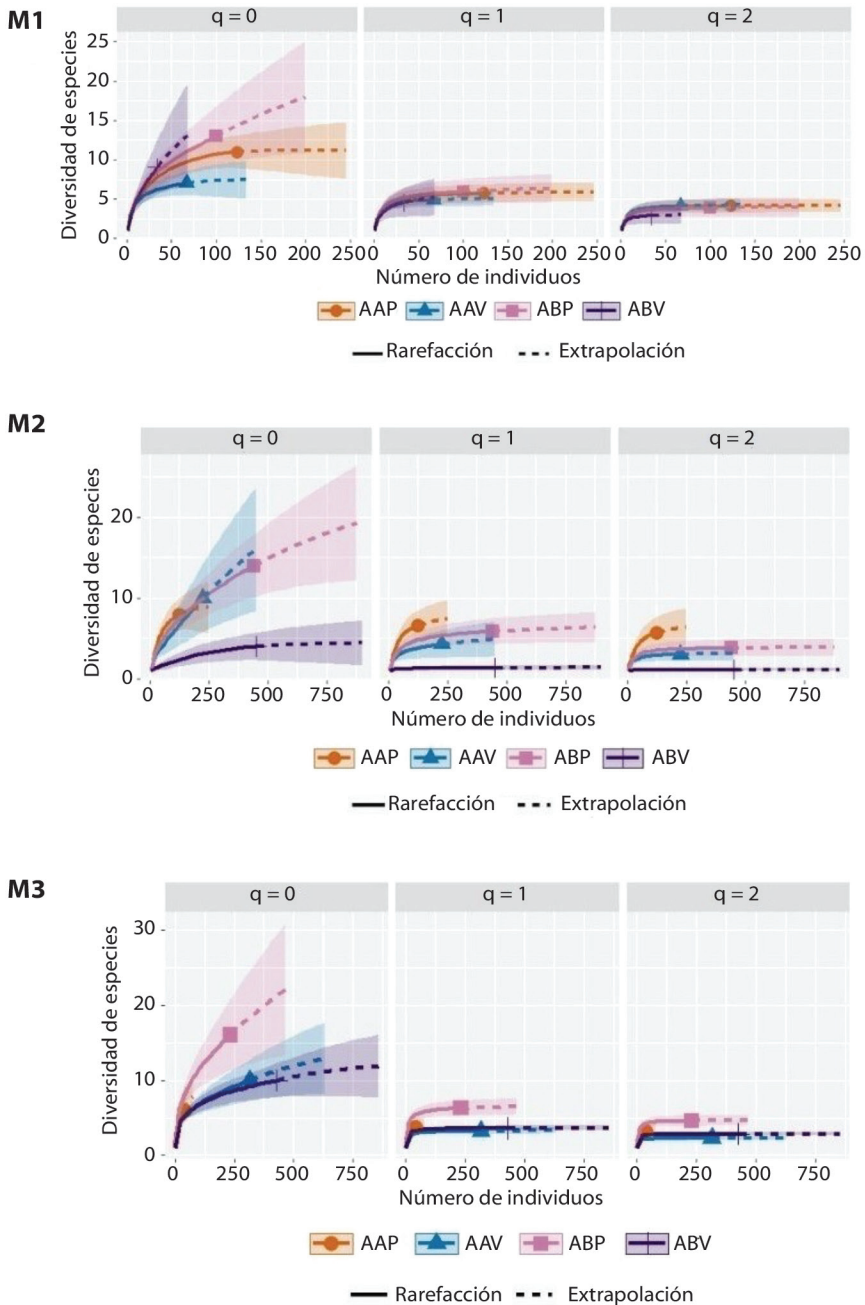


Fig. 3. Rarefacción / extrapolación del número efectivo de géneros del orden *Diptera* $q = 0$, $q = 1$ y $q = 2$ en los cuatro muestreos en la cuenca del río Combeima (Tolima – Colombia). Muestreo 1 (M1), Muestreo 2 (M2), Muestreo 3 (M3). Estaciones, AAP (Aguas Arriba Perlas), ABP (Aguas Abajo Perlas), AAV (Aguas Arriba Villa restrepo), ABV (Aguas Abajo Villa restrepo). / **Fig. 3.** Rarefaction/extrapolation of the effective number of genera of the order *Diptera* ($q = 0$, $q = 1$, and $q = 2$) across four sampling campaigns in the Combeima River watershed (Tolima, Colombia). Sampling 1 (M1), Sampling 2 (M2), Sampling 3 (M3). Stations: AAP (Aguas Arriba Perlas), ABP (Aguas Abajo Perlas), AAV (Aguas Arriba Villa Restrepo), ABV (Aguas Abajo Villa Restrepo).

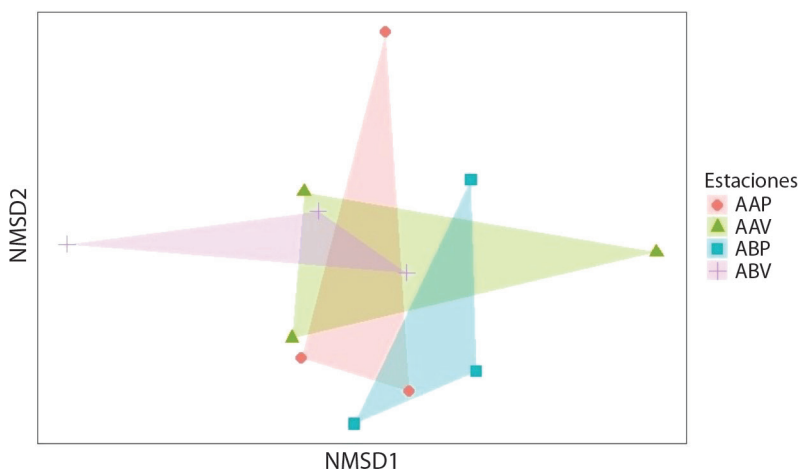


Fig. 4. Diagrama de ordenación NMSD basado en las abundancias en los géneros de larvas de dípteros registrados en cuatro estaciones de muestreo, AAP (Aguas Arriba Perlas), ABP (Aguas Abajo Perlas), AAV (Aguas Arriba Villa restrepo), ABV (Aguas Abajo Villa restrepo). / **Fig. 4.** NMSD ordination diagram based on the abundances of genera of aquatic dipteran larvae recorded at four sampling stations: AAP (Aguas Arriba Perlas), ABP (Aguas Abajo Perlas), AAV (Aguas Arriba Villa Restrepo), and ABV (Aguas Abajo Villa Restrepo).

et al., 2011), donde AAP y ABP presentaron mejores condiciones estructurales del hábitat, mientras que AAV y ABV mostraron mayor grado de alteración. En estas últimas predominó una mayor proporción de géneros tolerantes, como *Polypedilum* y *Cricotopus* (Chironominae y Orthocladiinae, respectivamente), mientras que en AAP y ABP se registraron géneros asociados a aguas bien oxigenadas y de corriente rápida, como *Simulium* y *Limonicola*.

Estos patrones indican que la estructura del ensamblaje de dípteros está modulada por gradientes ambientales y por el grado de perturbación antrópica. Aunque el presente estudio no incluyó un análisis formal de bioindicación, la composición observada permite identificar géneros potencialmente útiles como indicadores de condiciones ambientales, en concordancia con los rangos de tolerancia propuestos por Molineri et al. (2020) para sistemas altoandinos.

DISCUSIÓN

La composición de la comunidad de dípteros acuáticos en la cuenca del río Combeima

estuvo dominada por la familia Chironomidae, que representó el 74.6 % de los organismos recolectados, con alta abundancia en todas las estaciones. Esta familia se caracteriza por su plasticidad ecológica, ciclos de vida flexibles y alta tolerancia a distintos gradientes ambientales (Adler & Courtney, 2019; Domínguez & Fernández, 2009; Rodríguez-Rodríguez et al., 2021; Yeates et al., 2007).

La suficiencia del muestreo quedó respaldada por la curva de acumulación y los estimadores (Chao1 y ACE), que mostraron valores de cobertura superiores al 85 %. Estos resultados sugieren que el esfuerzo de recolección fue adecuado para capturar la mayoría de la riqueza local, concordando con estudios realizados en sistemas altoandinos de Ecuador y Colombia (Acosta & Prat, 2018; Villamarín et al., 2021).

Dentro de Chironomidae, *Cricotopus* (Orthocladiinae) fue el género más representativo, reflejando su capacidad para habitar distintos rangos altitudinales y condiciones ambientales (Bejarano-Narváez et al., 2023). Sin embargo, el solapamiento parcial entre AAP, ABP y AAV observado en el análisis NMSD, mostró composiciones similares, lo



cual sugiere que factores locales influyen en la estructura de las comunidades, esto concuerda con lo observado en ríos de alta montaña, donde variables como la vegetación ribereña, el caudal o la profundidad determinan la distribución local de los macroinvertebrados (Prat et al., 2018; Prat et al., 2024; Roldán-Pérez, 2016).

Los resultados del protocolo CERA-S (Encalada et al., 2011) mostraron un gradiente claro de alteración hidromorfológica, con AAP y ABP clasificadas como de buena calidad y AAV y ABV como las de mayor intervención antrópica, debido a la presencia de viviendas, cultivos y actividades turísticas. Este gradiente se reflejó en la composición de la comunidad, donde *Polypedilum* tuvo mayor presencia en las estaciones AAV y ABV, coincidiendo con los valores más bajos de calidad del hábitat, patrón que concuerda con Molineri et al. (2020), que afirman que *este género* se asocia a sitios con alta carga orgánica, baja oxigenación y pérdida de hábitat ribereño. En contraste, los géneros *Simulium* y *Limonicola*, se asociaron principalmente con la estación AAP, y *Rheotanytarsus*, *Parametriocnemus* y *Corynoneura* predominaron en las estaciones AAP y ABP, características de aguas rápidas y bien oxigenadas (Domínguez & Fernández, 2009; Nicacio & Juen, 2015; Prat & Castro-López, 2023).

Los números de Hill mostraron que $q = 0$ y $q = 1$ fueron mayores en las estaciones de mejor calidad ambiental, mientras que ABV presentó los valores más bajos; estos resultados coinciden con estudios que relacionan la pérdida de cobertura vegetal y la degradación del hábitat con una menor diversidad de dípteros (Buitrago-Guacaneme et al., 2018; Gil-González et al., 2023; Villamarín et al., 2021). Para el presente estudio, las diferencias observadas se asocian con el grado de perturbación antrópica y no únicamente con el gradiente altitudinal, lo cual refuerza la importancia de considerar la calidad hidromorfológica como variable explicativa de la diversidad.

El patrón observado en la cuenca de río Combeima muestra un reemplazo progresivo de géneros sensibles en especial los de las subfamilias Orthocladiinae y Tanypodinae, por

géneros tolerantes como los pertenecientes a la subfamilia Chironominae, a lo largo del área de estudio. Este cambio en la composición se asocia a la pérdida de calidad del hábitat y al aumento de la presión antrópica, donde los géneros más resistentes tienden a dominar en los sitios alterados. Este cambio coincide con los valores de tolerancia propuestos por Molineri et al. (2020), quienes asignan rangos bajos (uno a tres) a los Orthocladiinae y altos (siete a diez) a los Chironominae. Este gradiente indica que la estructura de las comunidades de dípteros responde a condiciones locales de calidad ambiental, reforzando su potencial uso como indicadores biológicos.

Finalmente, la alta representatividad del muestreo y los patrones de diversidad y composición observados confirman que las comunidades de dípteros del río Combeima responden tanto a gradientes ambientales naturales como a la presión antrópica local, estos resultados aportan una línea base sólida para futuras evaluaciones ecológicas y orientan la gestión de microcuencas altoandinas, que cumplen funciones esenciales de regulación hídrica y conservación de biodiversidad.

Ethics statement: (Do not modify - Exclusive use of RBT) The authors declare that they all agree with this publication and that they have made contributions that justify their authorship; that there is no conflict of interest of any kind; and that they have complied with all relevant ethical and legal requirements and procedures. All sources of funding are fully and clearly detailed in the acknowledgements section. The respective signed legal document is in the journal's archives.

AGRADECIMIENTOS

Al Grupo de Investigación en Zoología (GIZ) de la Universidad del Tolima (GIZ-UT), por el apoyo logístico en laboratorio y por el financiamiento parcial de la investigación. Al programa de Biología de la Universidad del Tolima (Ibagué, Colombia).

REFERENCIAS

- Acosta, R., & Prat, N. (2018). The Podonominae pupae (Diptera: Chironomidae) of the tropical high Andean rivers. *Revista de Biología Tropical*, 66(1), 6–27. <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i1.28459>
- Adler, P., & Courtney, G. (2019). Ecological and societal services of aquatic Diptera. *Insects*, 10(3), 70. <https://doi.org/10.3390/insects10030070>
- Bejarano-Narváez, M. J., Tamaris-Turizo, C. E., González-Trujillo, J. D., & Prat-Fornells, N. (2023). Variación altitudinal de las comunidades de larvas de Chironomidae (Insecta: Diptera) en un río de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural*, 27(1), 71–83. <https://doi.org/10.17151/bccm.2023.27.1.4>
- Bravo-Chaves, L. R., & Restrepo-Franco, G. M. (2021). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en dos ecosistemas lóticos en El Doncello, Caquetá. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 17(1), 57–72. <https://doi.org/10.18359/rfcb.5432>
- Buitrago-Guacaneme, A., Sotelo-Londoño, A., Pinilla-Agudelo, G. A., García-García, A., Moncada, L. I., & Adler, P. H. (2018). Abundance and diversity of black flies (Diptera: Simuliidae) in rivers of the Andean Eastern Hills of Bogotá (Colombia), and its relationship with water stream physicochemical variables. *Universitas Scientiarum*, 23 (2), 291–317. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.SC23-2.aado>
- Chao, A., Gotelli, N., Hsieh, T., Sander, E., Ma, K., Colwell, R., & Ellison, A. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: A framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*, 84(1), 45–67. <https://doi.org/10.1890/13-0133.1>
- Corporación Autónoma Regional del Tolima. (2006). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica mayor del río Coello* [Informe Técnico]. CORTOLIMA.
- Coscarón, S., & Coscarón-Arias, C. L. (2007). *Neotropical Simuliidae: Diptera, Insecta* (Vol. 3). Pensoft Pub.
- Domínguez, E., & Fernández, H. R. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo, Tucumán. <https://www.lillo.org.ar/editorial/index.php/publicaciones/catalog/book/125>
- Duarte-Ramos, E. J., & Reinoso-Flórez, G. (2020). Composición y estructura de larvas del orden Trichoptera (Arthropoda: Insecta) en la quebrada Las Perlas, Ibagué-Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 44(171), 471–481. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.964>
- Encalada, A. C., Rieradevall, M., Ríos-Touma, B., García, N., & Prat, N. (2011). *Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA-S)* [Informe Técnico]. USFQ, UB, AECID & FONAG.
- Epler, J. H. (2001). *Identification manual for the larval Chironomidae (Diptera) of North and South Carolina-A guide to the taxonomy of the midges of the southeastern United States, including Florida*. North Carolina Department of Environment and Natural Resources Division of Water Quality. <https://johneppler.com/SEMidges.pdf>
- Fusari, L. M., Dantas, G. P. S., & Pinho, L. C. (2018). Order Diptera. En N. Hamada, J. H. Thorp, & D. C. Rogers (Eds.), *Thorp and Covich's freshwater invertebrates* (pp. 607–623). Elsevier.
- Gil-González, S., Alvis-Zapata, N., Rodríguez-Hurtado, C., & Gomes Dias, L. (2023). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad de hábitat en afluentes del Parque Nacional Natural Selva Florencia. *Acta Biológica Colombiana*, 28(2), 319–328. <https://doi.org/10.15446/abc.v28n2.104022>
- Hsieh, T. C., Ma, K. H., & Chao, A. (2020). *iNEXT: Interpolation and extrapolation for species diversity* (R package version 2.0.20). R Foundation for Statistical Computing. <https://CRAN.R-project.org/package=iNEXT>
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2), 363–375.
- Laurindo-daSilva, F., Pinho, L. C., Wiedenbrug, S., Dantas, G. P. S., Siri, A., Andersen, T., & Trivinho-Strixino, S. (2018). Family Chironomidae. En J. H. Thorp, & D. C. Rogers (Eds.), *Thorp and Covich's freshwater invertebrates* (pp. 661–700). Elsevier.
- Medina-Urbe, C. A., Cultid-Medina, C. A., Martínez-Quintero, B. G., Escobar-Villa, A. F., Constantino-Chuaire, L. M., & Betancur-Posada, N. J. (2012). *Escarabajos coprófagos (Scarabaeinae) del Eje Cafetero: guía para el estudio ecológico*. WCS Colombia, & CENICAFÉ.
- Molineri, C., Tejerina, E. G., Torrejón, S. E., Pero, E. J. I., & Hankel, G. H. (2020). Indicative value of different taxonomic levels of Chironomidae for assessing the water quality. *Ecological Indicators*, 108, 105703. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105703>
- Mosquera-Murillo, Z., & Sánchez-Vázquez, S. P. (2019). Dípteros acuáticos del departamento del Chocó, Colombia. *Biota Colombiana*, 20(2), 46–58.
- Nicacio, G., & Juen, L. (2015). Chironomids as indicators in freshwater ecosystems: An assessment of the literature. *Insect Conservation and Diversity*, 8, 393–403. <https://doi.org/10.1111/icad.12123>
- Oksanen, J., Simpson, G. L., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., Solyomos, P., Stevens, M. H. H., Szoecs, E., Wagner, H.,



- Barbour, M., Bedward, M., Bolker, B., Borcard, D., Carvalho, G., Chirico, M., De Caceres, M., Durand, S., ... Weedon, J. (2022). *vegan: Community Ecology Package* (R package version 2.6-4). R Foundation for Statistical Computing. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2020). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2020: Agua y cambio climático* [Informe técnico]. ONU-Agua.
- Prat, N., & Castro-López, D. (2023). Chironomidae as indicators of water pollution in Pesquería River (México). *Journal of Entomological and Acarological Research*, 55(1), 10861. <https://doi.org/10.4081/jeur.2023.10861>
- Prat, N., Encalada, A., Villamarín, C., & Ríos-Touma, B. (2024). Composition, life-history, and population dynamics of the Chironomidae from a tropical high-altitude stream (Saltana River, Ecuador). *Acta Limnologica Brasiliensia*, 36, e40. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X11023>
- Prat, N., González-Trujillo, J. D., & Ospina-Torres, R. (2014). Clave para la determinación de exuvias pupales de los quironómidos (Diptera: Chironomidae) de ríos altoandinos tropicales. *Revista de Biología Tropical*, 62(4), 1385–1406.
- Prat, N., Paggi, A., Ribera, C., Acosta, R., Ríos-Touma, B., Villamarín, C., Rivera, F., Ossa, P., & Rieradevall, M. (2018). The *Cricotopus (Oliveiriella)* (Diptera: Chironomidae) of the high altitude Andean streams, with description of a new species, *C. (O.) rieradevallae*. *Neotropical Entomology*, 47, 256–270.
- 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 F. E. M., Departamento de Ecología, Universidad de Barcelona. <https://www.fehm.cat/wp-content/uploads/2025/04/CLAVE-MACROMORFOLOGIA-LARVAS-V10.pdf>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2018). *La protección del agua dulce muestra señales de progreso* [Informe técnico]. PNUMA.
- Quimbayo-Díaz, C. S., Reinoso-Flórez, G., & Guevara, G. (2023). Descomposición de hojas y ensamblaje de macroinvertebrados en una quebrada tropical andina (Ibagué, Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, 28(2), 293–303.
- Rodríguez-Rodríguez, J. F., Pinilla-Agudelo, G. A., & Moncada-Álvarez, L. I. (2021). Estructura de la comunidad de dípteros acuáticos en tramos de los cursos altos de los ríos fucha y bogotá. *Acta Biológica Colombiana*, 26(2), 147–159.
- Rojas-Céspedes, M. G., Forero-Céspedes, A. M., & Reinoso-Flórez, G. (2018). Dípteros acuáticos (Insecta) y su relación con las variables físicas y químicas en un río con bosque seco tropical, Natagaima, Tolima-Colombia. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 1(30), 18–31. <https://revistaacbb.org/t/index.php/acbb/article/view/151>
- Rojas-Céspedes, M. G., Guevara, G., & Reinoso-Flórez, G. (2023). Chironomidae y su relación con variables fisicoquímicas en tres quebradas del río Combeima (Tolima, Colombia). *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 1(35), 32–45.
- Rojas-Céspedes, M. G., Guevara, G., & Reinoso-Flórez, G. (2024). Chironomidae (Insecta: Diptera) en tres quebradas altoandinas tropicales en Colombia: Cambios altitudinales y temporales. *Revista de Biología Tropical*, 72(1), e57730. <https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop.v72i1.57730>
- Roldán-Pérez, G. (1988). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Fondo para la Protección del Medio Ambiente “José Celestino Mutis”.
- Roldán-Pérez, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: Cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(155), 254–274. <https://doi.org/10.18257/raccefy.n.335>
- Sundermann, A., Lohse, S., Beck, L. A., & Haase, P. (2007). Key to the larval stages of aquatic true flies (Diptera), based on the operational taxa list for running waters in Germany. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*, 43(1), 61–74.
- Trivinho-Strixino, S. (2011). *Larvas de Chironomidae: Guía de identificação*. Universidade Federal de São Carlos.
- Villamarín, C., Villamarín-Cortez, S., Salcido, D. M., Herrera-Madrid, M., & Ríos-Touma, B. (2021). Drivers of diversity and altitudinal distribution of chironomids (Diptera: Chironomidae) in the Ecuadorian Andes. *Revista de Biología Tropical*, 69(1), 113–126.
- Yeates, D. K., Wiegmann, B. M., Courtney, G. W., Meier, R., Lambkin, C., & Pape, T. (2007). Phylogeny and systematics of Diptera: Two decades of progress and prospects. *Zootaxa*, 1668(1), 565–590.