

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN / RESEARCH ARTICLE

VALORES PRIMARIOS DE BIOINDICACIÓN PARA EXUVIAS PUPALES DE CHIRONOMIDOS HABITANDO EN QUEBRADAS URBANAS ALTOANDINAS TROPICALES EN BOGOTÁ, COLOMBIA

Primary Values of Bioindication of Chironomid Pupal Exuviae of Tropical High Andean Urban Streams on Bogotá, Colombia

Wolfgang Andres RODRIGUEZ-SOTO^{1*} Maritza Milena GONZÁLEZ-TRUJILLO¹ Magnolia LONGO¹
Rodulfo OSPINA-TORRES^{2a}

1. Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Carrera 4 # 22-61, Bogotá, Colombia wolfganga.rodriguez@utadeo.edu.co; marymilegonza@gmail.com; magnoliac.longos@utadeo.edu.co
2. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Av. (Cra.) 30 No. 45-03, Colombia. rospinat@unal.edu.co

Recibido: 18 de octubre de 2022. **Revisado:** 20 de febrero de 2023. **Aceptado:** 13 de junio de 2024

Editor asociado: Jeymy Milena Walteros Rodriguez

Citation/ citar este artículo como: Rodriguez-Soto, W.A., González-Trujillo, M.M., Longo-Sanchez, M.C y Ospina-Torres, R. (2024). Valores primarios de bioindicación para exuvias pupales de chironomidos habitando en quebradas urbanas altoandinas tropicales en Bogotá, Colombia. *Acta Biol. Colomb.*, 29(3), 82-95. <https://doi.org/10.15446/abc.v29n3.104072>

RESUMEN

Los géneros y las especies de la familia *Chironomidae* se han considerado tradicionalmente como bioindicadores de mala calidad de agua o estado ecológico deplorable, lo que se evidencia en puntajes bajos para esta familia en índices como BMWP para Europa y sus adaptaciones para Latinoamérica. Dada la diversidad y abundancia de esta familia, es necesario identificar los requerimientos de hábitat de cada género. Por tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar la diversidad de quironómidos así como los valores de óptimos y tolerancias, a condiciones ambientales en cinco quebradas localizadas sobre los cerros orientales de Bogotá. La captura de exuvias pupales se llevó a cabo en tres temporadas, registrando también variables ambientales. Con base en los datos de densidad de las exuvias y su asociación dependiente con las variables ambientales, se determinaron los puntajes de óptimos y tolerancias, así como las variables ambientales más influyentes en la composición y densidad. Se encontraron 16 géneros, siendo *Chironomus* el bioindicador de condiciones críticas en relación con la calidad ecológica; *Cricotopus* y *Orthocladiinae* Mf1 fueron euritolerantes; *Parakieffirella*, *Limnophyes*, *Nanocladius*, *Riethia* y *Orthocladiinae* Mf6, fueron estenotolerantes a la contaminación. Las variables fisicoquímicas determinantes de la presencia y densidad fueron conductividad eléctrica, turbidez, temperatura, pH, DBO5, nitrógeno total, cloruros, dureza total y cobertura de vegetación ribereña. La buena gestión por parte de las autoridades locales ambientales sumado a la participación ciudadana en el cuidado de las zonas de ribera, favorece la biodiversidad y el buen estado de los ecosistemas.

Palabras clave: Diversidad Taxonómica, estado ecológico, Ríos Urbanos, neotrópico

ABSTRACT

Genera and species of the *Chironomidae* family have traditionally been considered bioindicators of poor water quality or deplorable ecological status, which is evidenced by the low scores for this family in indices such as BMWP for Europe and its adaptations for Latin America. Considering the high diversity and abundance of this family, it is necessary to identify the habitat requirements of each genus. This work aimed to determine the diversity of chironomids as well as the values of optimum and tolerance, to environmental conditions in five streams located in the eastern mountains of Bogotá. The capture of pupal exuviae was carried out three times. Environmental variables were sampled too. Based on the density of the exuviae and the correlations with environmental variables, the optimum and tolerance scores were determined, as well as environmental variables significant in the composition and density. Sixteen

genera were found, *Chironomus* was a bioindicator of critical conditions concerning ecological quality; *Cricotopus* and, *Orthocladiinae* Mf1 were eurytolerant; *Parakieffirella*, *Limnophyes*, *Nanocladius*, *Riethia* and *Orthocladiinae* Mf6 were stenotolerant to contamination. The physicochemical variables determining presence and density were electrical conductivity, turbidity, temperature, pH, BOD5, total nitrogen, chlorides, total hardness, and riparian vegetation cover. Good management by local environmental authorities, added to citizen participation in caring for riparian areas, favors biodiversity and the good condition of ecosystems.

Keywords: Taxonomic Diversity, Ecological Status, Urban Rivers, Neotropics

INTRODUCCIÓN

A pesar de los servicios ambientales que prestan los ríos urbanos tales como, reducción de calor, control de inundaciones y áreas recreativas (Booth *et al.* 2016). históricamente la planeación civil de los centros poblados ha tenido sistemas de abastecimiento y saneamiento deficientes, con ríos urbanos canalizados de forma superficial y subterránea, y con altas descargas de aguas residuales y domésticas. Además, en el caso particular de Colombia, no existen normas jurídicas para el uso y manejo de estos sistemas a nivel nacional y de forma especial; por tanto, los ríos urbanos son tratados inadecuadamente por la industria, el comercio y los productores, entre otros. Adicionalmente, las poblaciones humanas invaden los cauces para urbanizar de forma ilegal, y los habitantes de calle usan los canales como dormitorio, excusado, y sitio de lavado de ropas. Todas estas particularidades repercuten sobre las poblaciones biológicas y la salud ecosistémica de los sistemas lóticos urbanos.

Se estima que para el año 2030, en países de bajos ingresos, aproximadamente el 60 % de la población vivirá en áreas urbanas (Cohen, 2006), lo que llevará al denominado 'síndrome del río urbano'. Que consiste en la alteración de los sistemas lóticos a causa de la urbanización. Los ríos urbanos se caracterizan por ser sistemas canalizados superficiales o subterráneos, con concentraciones de nutrientes más altas que el promedio, con sustancias tóxicas, y una reducida diversidad de especies acuáticas con un aumento en la riqueza y abundancia de especies tolerantes (Walsh *et al.*, 2005). En este sentido, el llamado es a proteger los ríos para garantizar la oferta de servicios ecosistémicos es más que urgente, sobre todo por el incremento en la inmigración humana hacia los centros urbanos en donde aumentan las demandas de agua y energía, pero también las intervenciones inadecuadas sobre los cauces de los ríos.

Al respecto, los indicadores bióticos son una herramienta para establecer rápidamente la calidad ecológica, al brindar información sobre la calidad del agua, y de los procesos ecológicos que la soportan. Taxones como la familia *Chironomidae* (Díptera) se consideran excelentes bioindicadores debido a su alta diversidad de especies con casi 900 de ellas descritas en el Neotrópico (Spies y Reiss, 1996; Spies *et al.*, 2008), sin dejar de lado la sensibilidad de varias especies ante cambios en el uso del suelo (Kranzfelder, 2018). Los quironómidos son relativamente fáciles de capturar en el agua, y las identificaciones taxonómicas pueden realizarse con diferentes estadios (larvas, pupas, exuvias púlpales o

usando los tres estadios). A pesar de ello, para las identificaciones taxonómicas varios autores prefieren las exuvias púlpales que derivan, dado que el montaje de micropreparados es más rápido que el de las larvas, y proporciona mayor precisión en la determinación de géneros y especies (Prat *et al.*, 2014), el proceso de emergencia con la subsecuente acumulación de las exuvias en la superficie del agua, proporciona una medición precisa de la biodiversidad del grupo y del uso exitoso de los diferentes tipos de hábitats por los estadios inmaduros (ej., sedimentos, aguas profundas, hojarasca, y la zona hiporreica), y representa la culminación de la fase acuática de los taxones. Por tanto, las exuvias púlpales de los quironómidos flotantes en la superficie del agua son ampliamente empleadas en estudios ecológicos, y en programas de monitoreo y control de calidad de los sistemas acuáticos (Wilson y Ruse., 2005; Guevara *et al.*, 2015; Arpellino *et al.*, 2022).

Uno de los índices bióticos más empleados para evaluar la calidad del agua en Colombia es el Biological Monitoring Working Party Colombia (BMWP-Col), encontrándose en él, según (Forero *et al.*, 2014), limitaciones en el puntaje asignado a la familia *Chironomidae*, el cual es 2,0 lo que indica que estos organismos se encuentran en condiciones de calidad de agua mala, ignorando así que la tolerancia a la contaminación varía según el género y la especie (Ruse, 2002; Wilson y Ruse, 2005). Por esta razón, se recomienda emplear los valores óptimos y de tolerancia para cada taxón. El valor óptimo corresponde al puntaje de cada taxón en el gradiente de variación ambiental, que va de aguas afectadas a aguas limpias. La tolerancia describe la amplitud ecológica a lo largo del gradiente ambiental (Forero *et al.*, 2014), estos valores determinan la sensibilidad (fragilidad) de los taxones frente a cambios en el estado ecológico de los ecosistemas. No obstante, los valores óptimos y de tolerancia han sido calculados escasamente para algunos géneros/especies de quironómidos de los Andes (Forero *et al.*, 2014).

Lo anterior también se debe a que, en contraste con otras regiones biogeográficas, el conocimiento de la quironomidofauna en el Neotrópico es muy limitado, con expectativas de cientos de especies no descritas (Spies y Reiss, 1996; Spies, 2008; Kranzfelder, 2012; Prat *et al.*, 2014; Prat *et al.*, 2018; Wiedenbrug y Ospina-Torres 2005; Escobar *et al.*, 2017; Oliveira *et al.*, 2019). En el caso de Sudamérica, la falta de recursos financieros para investigación básica, y el insuficiente número de expertos en taxonomía y ecología limitan el acceso al conocimiento biológico y ecológico del grupo (Cortezzi *et al.*, 2012); además, el incremento de

ecosistemas bajo presión antrópica dificulta el acceso y el número de sitios prístinos a usar como puntos de referencia. En Colombia, entre los pocos trabajos sobre quirómidos, figuran las claves taxonómicas para larvas de Ruiz Moreno *et al.* (2000), los estudios sobre caracteres taxonómicos de exuvias pupales, y la relación de la composición con algunas variables ambientales (Marzan, 1999; Chiguasuque Mora y Aristide, 2000; Giraldo, 2013; Pantano, 2016), todos llevados a cabo en cercanías a Bogotá D.C. También figura el trabajo de Odume y Muller (2011) adelantado en varios tributarios del río Magdalena. Aunque estos estudios han enriquecido el conocimiento sobre aspectos taxonómicos y algunos ecológicos de los quironómidos en Suramérica, y en Bogotá DC en particular, ninguno ha establecido valores de bioindicación como referencia para otros ríos urbanos en la región altoandina.

Obtener valores primarios de bioindicación para los géneros de *Chironomidae* de quebradas urbanas altoandinas de Bogotá D.C. permitirá que sean utilizados como herramientas en el monitoreo de la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos. La presencia o ausencia de ciertos géneros de *Chironomidae* puede ser indicativa de la presencia de contaminantes o de cambios en las condiciones del agua, lo que puede afectar la biodiversidad y la salud humana. El utilizar exuvias pupales minimizará el impacto en los organismos acuáticos y se obtiene información más precisa sobre la composición taxonómica de las comunidades de *Chironomidae* presentes en las quebradas urbanas altoandinas de Bogotá D.C por su fácil identificación.

De acuerdo con lo descrito, en este trabajo se plantearon los siguientes interrogantes ¿Cómo varía la diversidad (composición, abundancia, H', dominancia y equidad) de las exuvias pupales derivantes entre las quebradas de estudio? ¿Cuáles son las variables ambientales que determinan la composición y la abundancia de los taxones en las quebradas? y ¿Cuáles son los valores óptimos y de tolerancia de cada taxón frente al gradiente ambiental? Se hipotetiza que en las quebradas donde haya mayor intervención antrópica deberá haber mayor dominancia de taxones de *Chironominae*, con valores generales de equidad y H' bajos. Dados los niveles de intervención que presenta cada quebrada, las variables ambientales determinantes de la composición y la abundancia serán los nutrientes. Los géneros con valores óptimos más altos y menor tolerancia serán los de la subfamilia *Orthoclaadiinae* y *Tanypodinae*, caso contrario para *Chironominae*. Los objetivos fueron: 1) Identificar la composición y diversidad del ensamblaje de *Chironomidae* a partir de las exuvias pupales derivantes. 2) Identificar las variables ambientales que determinan la abundancia de los taxones en los sistemas. 3) Establecer los valores óptimos y de tolerancia de cada taxón identificado.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO. El área de estudio se encuentra localizada en el perímetro urbano de la ciudad de Bogotá, Distrito Capital de Colombia, donde habitan aproximadamente siete millones doscientas mil personas (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [Dane], 2018). Bogotá es una ciudad altoandina de la ecoregión Magdalena-Sinú (Salamanca *et al.*, 2022). El clima de acuerdo con la clasificación de Köppen es Cfb (clima templado húmedo de montaña, isotérmico); la temperatura media anual es 14°C, constante a lo largo del año con diferencias temporales mínimas. La temporalidad depende más de la precipitación pluvial (promedio anual 1000 mm), con dos períodos de lluvias escasas y dos períodos lluviosos. El período lluvioso ocurre entre marzo y mayo, y de octubre a noviembre. El período de lluvias escasas se presenta entre diciembre, enero y febrero, y de junio a septiembre. La humedad es relativamente estable a lo largo del año con una variación entre 74 y 77 %. La principal variación en temperatura ocurre en el día durante el período de lluvias escasas, donde la temperatura puede superar los 20°C; durante este período, debido a la reducción del efecto invernadero por la ausencia de nubes, se producen heladas (temperatura $\leq 0^\circ\text{C}$) en las horas de la madrugada, especialmente en las zonas periféricas. En el período poco lluvioso la amplitud térmica es mayor que en el período lluvioso, con temperaturas más altas durante el día y más bajas durante la noche/madrugada, pero con una temperatura promedio mayor que durante el período lluvioso (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2004).

Las fuentes primordiales de abastecimiento hídrico de Bogotá DC se encuentran localizadas en el páramo de Chingaza y sus zonas aledañas, y en menor medida en el páramo de Sumapaz. Igualmente, las quebradas que transcurren a través de la ciudad nacen en la alta montaña. Las cinco quebradas aquí citadas se ubican en dirección norte-sur, al oriente de Bogotá D.C., en un rango de elevación entre 2690 y 2760 msnm. Las quebradas La Vieja y Arzobispo tributan en el río El Salitre, la quebrada San Francisco desemboca en el río Fucha, la quebrada La Nutria vierte sus aguas a la quebrada La Chiguaza que a su vez desemboca en el río Tunjuelito, a este río también confluye la quebrada Yomasa. Todas tienen diferente uso del suelo, siendo las principales características de los tramos muestreados, las siguientes:

- Quebrada La Vieja: localizada en el centro de la ciudad a los 4°39'03,43" N y 74°02'57,61" W, en la localidad de Chapinero. Dicha localidad presenta alta ocupación humana y edificaciones. La estación de muestreo hace parte de la reserva forestal protectora de los Cerros Orientales de Bogotá. La vegetación

riberaña sombrea al cauce en un 70 %, y consta principalmente de árboles, arbustos, y herbáceas. El agua se observa de color marrón claro, el fondo del lecho es arenoso-pedregoso con bastante cantidad de residuos vegetales. No hay descargas de aguas residuales. Existe urbanización aledaña a 10 m de distancia e influencia de dos vías vehiculares. A lo largo del tramo está construido un sendero peatonal utilizado para actividades de recreación controlada. Aguas abajo, a 300 m, la quebrada está canalizada.

- Quebrada Arzobispo: El tramo muestreado también está localizado en la localidad de Chapinero a 4°37'23,88" N y 74°03'29,77" W. No hay viviendas aledañas por lo que no recibe aguas residuales. Una sola ribera cuenta con vegetación compuesta principalmente por árboles que brindan 50 % de sombra al canal. La otra ribera es un sendero peatonal. Los sustratos son arena y cantos, con hojarasca y troncos, el agua es transparente. Tiene influencia de una vía vehicular.
- Quebrada San Francisco: También localizada en la zona de reserva de los Cerros Orientales a 4°36'01,55" N y 74°03'26,71" W, en la localidad de La Candelaria, en el centro de la ciudad. Ambas riberas están cubiertas por una plantación de pino y algunos árboles nativos que cubren el canal en 40 %. En una de las riberas está un sendero peatonal utilizado para recreación. En el lecho se observan arenas, cantos y algunos bloques, así como larvas de peces. A lo largo de la quebrada hay represamientos pequeños. En cuanto desciende del cerro, la quebrada está canalizada en forma de fuente en el tramo que transcurre a través del centro de la ciudad; luego corre en forma de canal subterráneo hasta su desembocadura.
- Quebrada La Nutria: este sistema está localizado al sur de la ciudad. La estación de muestreo está dentro del área del Parque Ecológico Distrital Entrenubes a los 4°32'22,12" N y 74°05'47,59" W, en la localidad de San Cristóbal. La vegetación ribereña es abundante en la ladera que se encuentra dentro del parque ecológico; la otra ladera está fuera de dicho parque y es ocupada por casas. El sombreado del canal es de 75 %; en el lecho dominan gravas y cantos. El agua es de coloración oscura, con mal olor ya que ahí se vierten residuos domésticos y comerciales.
- Quebrada Yomasa: la estación está localizada a 4°30'22,27" N y 74°06'31,30" W, en la localidad de Usme al sur de la ciudad. El fondo del canal está compuesto por gravas y cantos. No hay vegetación leñosa ribereña pero sí asentamientos humanos. Tiene influencia de una vía vehicular principal y puentes peatonales, vertimientos de aguas domésticas y de una gasolinera, gaviones y abundantes residuos sólidos.

FASE DE CAMPO. Se realizaron tres campañas de muestreo, dos en período de lluvias escasas (febrero y julio) y otra durante las lluvias altas (octubre) de 2017. En cada estación se midieron *in situ*: temperatura del agua (T) mediante Multi HQ 40d Sonda LDO 101 marca HACH, conductividad eléctrica (CE) con conductímetro Mettler Toledo Seven go con electrodo INLAB 737, pH con potenciómetro Mettler Toledo Seven go con electrodo INLAB 413, oxígeno disuelto (OD) oxígeno disuelto (mg. l⁻¹) mediante Multi HQ 40d Sonda LDO 101 marca HACH, y turbidez (NTU) con turbidímetro HI93703 marca Hanna. El caudal (Q) se estimó con un correntómetro Global WA FP 211; en cada estación se realizó un transecto transversal con un mínimo de 5 secciones donde se registró en cada una la profundidad y la velocidad del agua. Por titulación se determinaron alcalinidad (ALC), gas carbónico libre (CO₂), dureza total (DT), dureza cálcica (DCa) y cloruros (Cl), siguiendo los protocolos APHA-AWWA-WEF (1998). En cada estación se recogió una muestra de 1Lt de agua, la cual fue conservada en frío (4°C) hasta la cuantificación en laboratorio certificado de Demanda Biológica de Oxígeno Disuelto (DBO₅), nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT), para ello se emplearon los métodos SM 5210 B / EPA 360,3, DIN en 12260, y EPA 200,7, respectivamente. Las condiciones generales de los tramos muestreados (incluyendo el % de cobertura ribereña relativa) se establecieron siguiendo el protocolo AusRivas Physical Assessment Protocol (Parsons *et al.*, 2001).

La colecta de las exuvias se realizó en un tramo de 15 m en cada quebrada, Se instalaron cuatro mallas de deriva (0,24 m² de área, 250 µm de ojo de malla) a lo ancho de cada tramo, las cuales fueron sumergidas durante 15 minutos con tres repeticiones en contra de la corriente en cada uno de los momentos generando una muestra integrada. Esta estrategia permite considerar las variaciones en los caudales, que podrían afectar la composición de la comunidad de quironómidos. Debido a que los patrones de emergencia de los quironómidos que esta influenciada por la temperatura y por consiguiente afecta la deriva de exuvias; en cada campaña se realizaron muestreos en tres momentos del día (07h00-08h00, 11h00-12h00, 15h00-18h00). El material capturado fue lavado haciendo uso de un tamiz de 180 µm. Las muestras separadas fueron fijadas en alcohol al 70 % y transportadas al laboratorio de Limnología de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano (UTadeo) para su posterior separación e identificación taxonómica.

FASE DE LABORATORIO. La preparación y el montaje de las exuvias se realizó siguiendo los métodos descritos por Pinder y Reiss (1986) y Prat *et al.* (2014). De tal forma, las exuvias fueron deshidratadas en alcohol absoluto durante dos minutos; luego fueron diseccionadas y montadas en Euparal. Las observaciones de los montajes se realizaron bajo el microscopio de contraste de fases Leica DMLS. Se montaron 450 exuvias que se encuentran depositadas en la colección de invertebrados acuáticos de la Universidad

Nacional de Colombia sede Bogotá. Las claves empleadas para las determinaciones taxonómicas fueron las de Wiederholm (1980), Ospina (1992), Wiedenbrug y Ospina-Torres (2005) y Prat *et al.* (2014), las dos últimas son claves publicadas con base en material biológico colectado en la zona tropical.

TRATAMIENTO DE LOS DATOS. La abundancia absoluta de cada muestreo se determinó contando el total de individuos colectados por tramo de cada quebrada, integrando las tres repeticiones (área total 0,72m²), en cada uno de los tres momentos de colecta del día por estación de muestreo y para cada temporada de muestreo (lluvias altas, medias y bajas). La densidad de deriva de cada taxón por muestreo y por quebrada, se estimó integrando la abundancia colectada en las tres repeticiones, con base en la ecuación de Hauer y Lamberti (1996):

$$D = (Ab) / (T.V.A)$$

D: Densidad de la población derivante (individuos/m²/min)

Ab: Abundancia de la población derivante

T: Tiempo total de exposición de la(s) red

V: Velocidad de la corriente en la entrada de la(s) red (m s⁻¹)

A: Área sumergida de la red en m².

La efectividad del muestreo se determinó integrando los datos de todas las quebradas y muestreos para estimar una curva de acumulación de géneros con base en los estimadores Chao 1 y Chao 2. En donde, Chao 1 tiene en cuenta la abundancia de los individuos en la muestra, en especial de aquellos taxones con pocos individuos; mientras que Chao 2 se basa en la incidencia de cada taxón en una muestra (Magurran, 2011). Para estas estimaciones se utilizó el Programa Estimates-Versión 9.1. Se calcularon además por quebrada, el índice de diversidad de Shannon (H') con ln, la Dominancia de Simpson (D), y la equitabilidad de Pielou (J).

Para los análisis multivariados, los registros de las variables fisicoquímicas y las abundancias absolutas fueron estandarizadas mediante la ecuación $VE = (X - Min) / (Max - Min)$ (Guisande *et al.*, 2011). Con los datos estandarizados de las variables fisicoquímicas se realizó un análisis de componentes principales (ACP) con el fin de establecer el gradiente ambiental y las estaciones asociadas a él (Fig. 1). Los datos de abundancia fueron utilizados en un análisis de correspondencia sin tendencia (DCA) para determinar la longitud del gradiente y determinar el modelo de respuesta multivariado apropiado a seguir. Dado que la longitud del gradiente fue de 7,24 DS en el primer eje (>3), se aplicó un análisis de correspondencia canónica (ACC) (Peeters *et al.*, 2004). Antes de calcular el ACC final, se evaluó la importancia de cada variable ambiental siguiendo el procedimiento "forward selection" combinado con un test de permutación de Monte Carlo con 499 permutaciones. Solo se incluyeron las variables que tuvieron una contribución significativa al modelo ($p \leq 0,05$). Luego, los valores de colinealidad también fueron

examinados repetidamente (Variance Inflation Factor - VIFs), así que solo se incluyeron en el ACC final aquellas variables que tenían VIFs < 20. Las variables PT, OD y ALC no cumplieron los anteriores requisitos, por tanto, no fueron incluidas en el ACC. De tal manera, en el ACC se incluyeron 12 variables ambientales (T, pH, NTU, CO₂, DT, DCa, Cl, DBO₅, NT, CE, Cob y Q). Estos análisis se realizaron en CANOCO versión 4.5 (Braak and Šmilauer, 2002).

Para establecer los valores óptimos y de tolerancia de cada taxón, se realizó un reescalamiento de los valores de las estaciones (scores) en el primer eje del ACC, el máximo puntaje (mayor heterogeneidad ≈ eutrófico) se equipará con un valor de uno y el mínimo (menor heterogeneidad ≈ oligotrófico) con diez, por medio de una regresión lineal. Con las puntuaciones de datos reescalados se corrió un modelo de promedios ponderados que permitió calcular los valores de bioindicación (*i.e.*, óptimos y tolerancia) para cada uno de los géneros frente al gradiente ambiental. Se empleó el software C2 Data Analysis program (Smith *et al.*, 2001; Haase y Nolte, 2008; Chalar *et al.*, 2011; Forero *et al.*, 2014).

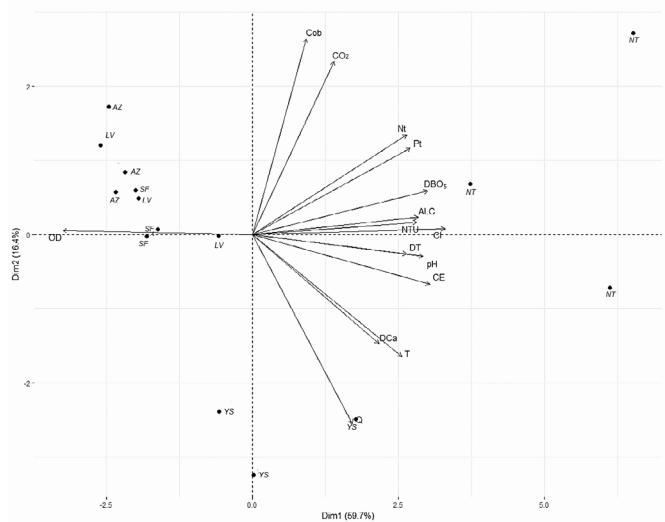


Figura 1. Ordenación en un Análisis de Coordenadas Principales, de las estaciones de muestreo localizadas en cinco quebradas urbanas de la ciudad de Bogotá, con base en variables ambientales. Las variables ambientales son: oxígeno disuelto (OD), sombreado del canal (Cob), gas carbónico (CO₂), nitrógeno total (NT), fósforo total (PT), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅), alcalinidad (ALC), turbidez (NTU), Cloruros (Cl), dureza total (DT), pH, conductividad eléctrica (CE), dureza cálcica (DCa), temperatura (T) y caudal (Q). Las siglas corresponden a los muestreos realizados en cada quebrada: LV Quebrada La Vieja; AZ Quebrada Arzobispo; SF Quebrada San Francisco; YS Quebrada Yomasa; NT Quebrada La Nutria.

RESULTADOS

VARIABLES AMBIENTALES. El caudal promedio de las quebradas estuvo comprendido entre 0,01 y 0,09 m³s⁻¹, el mayor caudal se encontró en Yomasa. La concentración de OD fue muy baja en La Nutria y en Yomasa. El OD promedio más alto se presentó en La Vieja, Arzobispo y San Francisco, quebradas con mejores condiciones de calidad de agua; de estas, Arzobispo presentó los valores promedio más bajos de T, NTU, ALC, DT, DCa, Cl, NT y PT, siendo así la quebrada de referencia de mejores condiciones ambientales en

general. La cobertura de la vegetación ribereña en las quebradas comprendió valores de 5 % a 75 % (Tabla 1), estando ausente la cobertura en la quebrada Yomasa donde predominaron pastos. En esta quebrada se observaron descargas residuales de las viviendas aledañas y de una gasolinera, y aportes de residuos sólidos como colchones y empaques de comestibles. Por su parte, la quebrada La Nutria recibió descargas residuales domésticas y comerciales sin tratar de varios barrios del suroriente. Las variables pH, NTU, ALC, DT, DCa, Cl, DBO5, NT, PT y CE presentaron valores medios más altos en las quebradas La Nutria y Yomasa; sin

Tabla 1. Variables ambientales de las quebradas La Vieja, Arzobispo, San Francisco, La Nutria y Yomasa en la ciudad de Bogotá D.C.: temperatura del agua (T), pH, oxígeno disuelto (OD), turbidez (NTU), alcalinidad (ALC), gas carbónico libre (CO₂), dureza total (DT), dureza cálcica (Dca), cloruros (Cl), demanda biológica de oxígenos (DBO₅), fósforo total (Pt), nitrógeno total (Nt), conductividad eléctrica (CE), sombreado del canal por cobertura ribereña (Cob) y caudal (Q).

	LA VIEJA		ARZOBISPO		SAN FRANCISCO		LA NUTRIA		YOMASA	
Tramo ubicado dentro de zona en restauración / rehabilitación	SI		NO		SI		SI		NO	
Canalización en el tramo de muestreo	NO		NO		NO		NO		NO	
Recreación	SI		SI		SI		NO		NO	
Riberas protegidas con vegetación arbórea, arbustiva y hierbas	SI		SI		SI		SI		NO	
Carreteras, puentes	SI		SI		NO		NO		SI	
Aguas residuales sin tratar	NO		NO		NO		SI		SI	
FISICOQUIMICAS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
T (°C)	14.23	0.88	13.23	0.88	13.26	0.89	16.66	0.47	17.00	0.81
pH	6.93	0.21	6.61	0.21	6.59	0.21	7.73	0.12	7.10	0.52
OD (mg.)	6.84	0.12	6.82	0.12	6.82	0.06	4.18	0.65	5.92	0.22
NTU	2.65	0.63	1.27	0.63	3.23	0.2	159.33	85.79	10.18	1.18
ALC (mg.)	9.42	2.49	9.15	2.49	14.8	3.45	168.00	68.53	14.75	3.4
CaCO ₃ (mg.)	7.62	2,19	19.35	2.19	17.00	0.84	27.57	17.85	5.84	3.62
DT (mg.)	15.00	10.8	11.66	10.8	21.66	10.27	42.33	10.2	30.00	4.08
D Ca (mg.)	7.73	5.85	4.00	5.85	7.46	2.29	13.6	3.97	11.33	5.38
Cl ⁻ (mg.)	8.33	7.99	3.26	7.99	10.94	3.49	56.46	5	18.26	10.66
DBO ₅ (mg.)	12.67	8.99	9.79	8.98	8.38	4.52	49.13	22.63	18.87	11.82
Pt (mg.)	0.22	0.08	0.18	0.08	0.3	0.13	4.00	2.02	0.74	0.49
Nt (mg.)	0.46	0.11	0.41	0.11	0.48	0.36	28.89	17.17	3.03	0.16
CE (µS.cm)	35.7	10.82	46.63	10.82	39.86	9.23	259.01	101.04	149.35	53.18
Cob (%)	70.00	0	50.00	0	40.00	0	75.00	0	5.00	0
Q (m ³ .)	0.017	0	0.01	0	0.03	0	0.06	0	0.09	0.01

embargo, los valores de NTU, ALC, DBO5, NT y CE fluctuaron más en La Nutria. La T promedio más alta se presentó en Yomasa, donde la concentración de CO₂ fue muy baja (Tabla 1).

En relación con los nutrientes, en la quebrada La Nutria se presentó una concentración media de cloruros de 56,40 mg l⁻¹, siendo la más alta entre las cinco quebradas de estudio. Esto se atribuye a la presencia constante de espumas de detergentes en el agua. Por su parte, la quebrada Yomasa presentó el segundo valor más alto con 18,26 mg l⁻¹ de cloruros, mientras que los valores más bajos se registraron en las quebradas Arzobispo y La Vieja, sugiriendo una influencia significativa de las actividades humanas en la calidad del agua de las quebradas urbanas, especialmente en aquellas con mayor presencia de descargas residuales.

Con respecto al gradiente ambiental, el ACP explicó el 76,1 % de la varianza del gradiente establecido, siendo los dos primeros componentes los que explicaron el mayor porcentaje (59,7 % y 16,4 %, respectivamente). Las quebradas fueron agrupadas en dos grupos (Fig. 1): el primer grupo compuesto por La Vieja, Arzobispo y San Francisco, donde la variable OD tuvo el mayor peso en el primer componente. Estas quebradas se caracterizaron por tener valores altos de OD y baja concentración de nutrientes. El segundo grupo estuvo formado por La Nutria y Yomasa, las cuales presentan mayor concentración de nutrientes y baja concentración de OD.

Las variables CO₂, DBO5, cloruros, NT y PT estuvieron más asociadas, y de manera positiva, con la quebrada La Nutria; mientras que T, DCa y Q se relacionaron altamente con la quebrada Yomasa. Las quebradas Yomasa y La Nutria presentaron una mayor alteración en la calidad del agua con una alta concentración de nutrientes. Por otro lado, La Vieja, San Francisco y Arzobispo fueron sistemas en buen estado ya que no presentan aportes residuales.

ESTRUCTURA DEL ENSAMBLAJE DE EXUVIAS DE CHIRONOMIDAE. De acuerdo con los resultados de la curva de acumulación de taxones, ésta tiende a ser asintótica tanto en los valores reales (Sobs) como los estimados (Chao 1 y Chao 2), lo que evidenció un buen esfuerzo de captura. Además, los altos valores de Chao 1 (100 %) y de Chao 2 (97 %), indican que en promedio se obtuvo el 98,5 % de los taxones de quironómidos que se esperaba encontrar.

Se identificaron 16 géneros de tres subfamilias de *Chironomidae* a partir de 5068 exuvias pupales. Nueve taxones fueron de la subfamilia *Orthoclaadiinae* (*Limnophyes*, *Parakiefferiella*, *Parametriocnemus*, *Cricotopus*, *Orthoclaadiinae* Mf1, *Orthoclaadiinae* Mf6, *Corynoneura*, *Thienemaniella* y *Nanocladius*), cuatro taxones pertenecieron a la subfamilia *Chironominae* (*Tanytarsus*, *Polypedilum*, *Riethia* y *Chironomus*), y tres a la subfamilia *Tanypodinae* (*Larsia*, *Tanypodinae* Mf1 y *Tanypodinae* Mf2). De tal manera, *Orthoclaadiinae* presentó el 56,25 % de la riqueza de la familia, mientras que *Chironominae* tuvo el 25 % y *Tanypodinae* el 18,75 %. *Cricotopus* se encontró en todas las quebradas; mientras que *Parakiefferiella*, *Orthoclaadiinae* Mf6 (descrito como género seis

por Prat *et al.*, 2014), *Nanocladius*, *Riethia*, *Larsia*, *Tanypodinae* Mf1 (cercano a *Telopelopia*) y *Tanypodinae* Mf2 (cercano a *Macropelopia*) (Wiederholm, 1980), se localizaron en una quebrada. El taxón más abundante fue *Orthoclaadiinae* Mf1 (referenciado también como género 1 por Roback y Coffman (1983) y Prat *et al.* (2014), el cual fue dominante por su alta abundancia absoluta (3937 exuvias en total) y frecuencia en la quebrada Yomasa, lo que contribuyó a que ésta quebrada presentará la mayor abundancia (4231 exuvias) y densidad de deriva (3,25 individuos/m²/min). *Chironomus* se colectó en Yomasa y en La Nutria, en esta última quebrada fue el género dominante (Tabla 2).

En general, la diversidad H' no superó los 2,0 nats.; encontrándose ese valor en las quebradas La Vieja y San Francisco, con una dominancia baja con valores de (0,16 y 0,17, respectivamente) y una alta uniformidad en estas mismas quebradas (0,90 y 0,86 respectivamente). Como se esperaba, la H' fue más baja en las quebradas, Yomasa y La Nutria con valores de 0,29 y 0,52 nats., correspondientemente. En Yomasa, la dominancia fue la más alta con un valor de 0,86 representada por *Orthoclaadiinae* Mf1 (Tabla 2), y la uniformidad más baja 0,26; en La Nutria, la dominancia fue de 0,45 y la uniformidad de 0,75. Por su parte, la quebrada Arzobispo presentó una diversidad media de 1,79 nats., con valores de dominancia de 0,23 y uniformidad de 0,77. La dominancia fue baja en los sistemas La Vieja, San Francisco y Arzobispo (entre 0,16 y 0,23); de tal manera que la uniformidad es alta en tres de las cinco quebradas.

RELACIÓN ENTRE GRADIENTE AMBIENTAL CON TAXONES Y ESTACIONES. Las variables que mejor explicaron el gradiente ambiental y que se utilizaron en el ACC fueron T, pH, NTU, CO₂, DT, DCa, Cl, DBO5, NT, CE, Cob y Q, cada una con un valor *p* < 0,02. En el ACC, la varianza total de la densidad de los quironómidos fue 2,78. De dicha varianza, el primer eje explicó el 31,0 % (eigenvalue = 0,86) y el segundo el 20,5 % (eigenvalue = 0,57). Al primer eje estuvieron altamente correlacionados los géneros *Cricotopus*, *Orthoclaadiinae* Mf1, y *Chironomus* (Fig. 2), así como las variables pH, T, CE, Cl, y Q; y con menor correlación figuraron DBO5, Nt, NTU y DCa; las estaciones asociadas a este eje correspondieron a las quebradas Yomasa y La Nutria, donde se reporta mayor enriquecimiento de nutrientes. En el plano positivo del segundo eje se encontraron los géneros *Parakiefferiella*, *Limnophyes*, *Corynoneura*, *Tanytarsus*, *Polypedilum*, *Larsia*, *Thienemaniella*, *Tanypodinae* Mf1 y Mf2, así como altos porcentajes de cobertura de sombra del canal (Cob > 80 %), y las estaciones de las quebradas La Vieja y Arzobispo. En el costado negativo del eje dos se observa a *Parametriocnemus*, *Riethia* y *Nanocladius*, asociados a concentraciones de CO₂ ≥ 17,00 mg.l⁻¹, reportadas en la quebrada San Francisco. En resumen, al primer eje del ACC se asociaron los géneros cuyo gradiente ambiental se ve influenciado por el enriquecimiento de nutrientes, y en el segundo eje se asociaron los géneros cuyo gradiente depende del buen estado del ecosistema.

Tabla 2. Composición, abundancia absoluta (# total) y densidad derivante total (# exuvias.m⁻³) de exuvias de 16 taxones de *Chironomidae* colectados en cinco quebradas urbanas altoandinas localizadas en Bogotá, D.C.

Taxones	Q. La Vieja		Q. Arzobispo		Q. San Francisco		Q. La Nutria		Q. Yomasa	
	Ab (#exv)	Den (exv.m ⁻³)	Ab (#exv)	Den (exv.m ⁻³)	Ab (#exv)	Den (exv.m ⁻³)	Ab (#exv)	Den (exv.m ⁻³)	Ab (#exv)	Den (exv.m ⁻³)
Orthoclaadiinae										
<i>Limnophyes</i>	12	0.013	2	0.002						
<i>Parakiefferiella</i>	43	0.046								
<i>Parametriocnemus</i>	15	0.016	26	0.018	20	0.013				
<i>Cricotopus</i>	45	0.048	40	0.027	37	0.025	18	0.013	202	0.155
Orthoclaadiinae Mf1	19	0.020	26	0.018	7	0.005			3937	3.024
Orthoclaadiinae Mf6					16	0.011				
<i>Corynoneura</i>	31	0.033			5	0.003				
<i>Thienemaniella</i>	82	0.087	150	0.102	15	0.010				
<i>Nanocladius</i>					4	0.003				
Chironominae										
<i>Tanytarsus</i>	12	0.013	36	0.024	6	0.004				
<i>Chironomus</i>							64	0.050	92	0.071
<i>Polypedilum</i>	24	0.026	45	0.030	2	0.001				
<i>Riethia</i>					7	0.005				
Tanypodinae										
<i>Larsia</i>			14	0.019						
Tanypodinae Mf1			12	0.008						
Tanypodinae Mf2			2	0.002						
Abundancia total	283		353		119		82		4 231	
Densidad total de deriva (#exv.m ⁻³)	0.3		0.25		0.08		0.06		3.25	

BIOINDICACIÓN. De los 16 taxones, 13 presentaron valores óptimos ≥ 9 , tres taxones presentaron valores óptimos $\leq 5,3$. (Forero *et al.*, 2014) describieron para macroinvertebrados acuáticos habitando en quebradas de montaña de la cuenca del río Negro – Antioquia, que taxones con valores óptimos $> 6,1$ se asocian a sistemas lóticos con buena calidad ecológica, taxones con valores óptimos $< 4,9$ se relacionan con estados de calidad del agua crítica, y taxones con valores entre cinco y seis se localizan en hábitats con calidad regular. Por tanto, géneros como *Limnophyes*, *Parakiefferiella*, *Parametriocnemus*, *Orthoclaadiinae Mf6*, *Thienemaniella*, *Corynoneura*, *Nanocladius*, *Larsia*, *Tanypodinae M1* y *M2*, *Tanytarsus*, *Polypedilum* y *Riethia*, serían indicadores biológicos de buena calidad de agua ya que presentaron valores de óptimos altos entre nueve y diez, así como estrecha tolerancia a gradientes ambientales con valores entre 0,02 y 0,5. Sin embargo, *Limnophyes*, *Parakiefferiella* (Fig. 5),

Nanocladius, *Riethia* y *Orthoclaadiinae Mf6*, que presentaron valores de óptimos altos así como valores de tolerancia más bajos (Tabla 3), serían los taxones más sensibles a la variación ambiental.

Tabla 3. Valores óptimos y de tolerancia de 16 de géneros de *Chironomidae* encontrados en cinco quebradas urbanas altoandinas de Bogotá, D.C.

Género	Óptimo	Tolerancia
<i>Limnophyes</i>	9.7	0.05
<i>Parakiefferiella</i>	9.7	0.02
<i>Parametriocnemus</i>	9.5	0.38
<i>Cricotopus</i>	5.3	3.53
Orthoclaadiinae Mf1	3.1	1.22
Orthoclaadiinae Mf6	9.1	0.06

Género	Óptimo	Tolerancia
<i>Thienemaniella</i>	9.7	0.25
<i>Corynoneura</i>	9.6	0.27
<i>Nanocladius</i>	9.0	0.03
<i>Larsia</i>	9.8	0.15
Tanypodinae Mf1	9.9	0.18
Tanypodinae Mf2	10.0	0.50
<i>Tanytarsus</i>	9.7	0.31
<i>Polypedilum</i>	9.8	0.22
<i>Riethia</i>	9.0	0.05
<i>Chironomus</i>	2.0	0.76

Por su parte, *Cricotopus*, Orthoclaadiinae Mf1 y *Chironomus* se relacionaron a sistemas con mayor aporte de nutrientes, de ahí que hayan presentado bajos valores óptimos y valores más altos de tolerancia; es decir, son bioindicadores de sistemas con estado ecológico de regular a crítico (Forero *et al.*, 2014). El género más euritolerante fue *Cricotopus*, con un alto valor de tolerancia igual a 3,53, y un óptimo de 5,3; está presente en todas las quebradas (Tabla 2). *Orthoclaadiinae* Mf1 presentó un valor óptimo de 3,1 y un valor de tolerancia de 1,22, también es euritolerante ya que se encontró en cuatro de las cinco quebradas, con mayor abundancia en Yomasa. Por su parte, el gran *Chironomus* tuvo el valor óptimo más bajo de todos los géneros (2,0), y la más alta tolerancia al gradiente ambiental (0,76) (Tabla 3), este taxón solo se encontró en las quebradas con calidad ecológica crítica (La Nutria y Yomasa), por tanto, se considera un bioindicador de mala calidad ecológica.

DISCUSIÓN

La gestión inapropiada a lo largo de los años de las quebradas urbanas, así como la carencia de educación ambiental por parte de los pobladores, ha llevado a muchas quebradas y ríos urbanos a lo largo del planeta a la degradación ambiental, de ahí el término acuñado “urban stream síndrome” (Walsh *et al.*, 2005). Este término proporciona un modelo conceptual bajo el cual se estudian las respuestas comunes de las cuencas hidrográficas o de los canales naturales y su biodiversidad ante los efectos de la urbanización; efectos que son similares a pesar de la diferencia en geopotencia de los sistemas lóticos, y que se reflejan en la pérdida de servicios y funciones ecológicas comunes a dichos ecosistemas (Booth *et al.*, 2016). Las prácticas inadecuadas en la deposición de residuos, el mal manejo de aguas residuales domésticas, y el irrespeto por los límites mínimos de ocupación de la vegetación ribereña, afectan significativamente las condiciones fisicoquímicas en cuerpos de agua, así como la diversidad de taxones de *Chironomidae*, entre otros grupos biológicos, en las quebradas urbanas, lo que los convierte

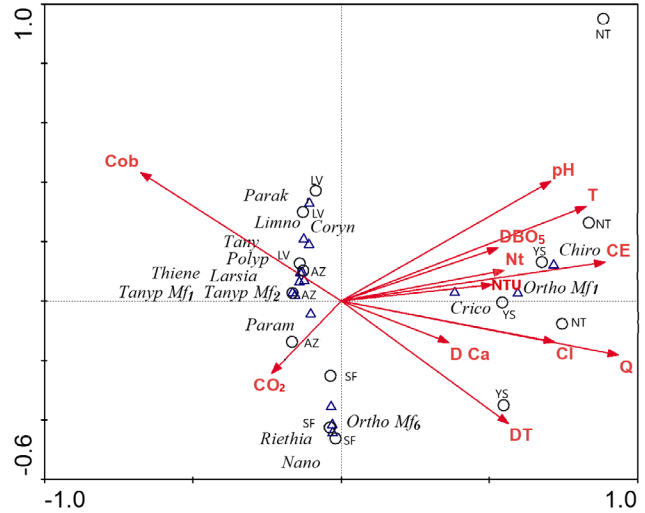


Figura 2. Análisis de correspondencia canónica entre las variables ambientales, los taxones de Chironomidae y las quebradas. Oxígeno disuelto (OD), sombra por cobertura (Cob), gas carbónico (CO₂), nitrógeno total (Nt), fósforo total (Pt), demanda biológica de oxígeno (DBO₅), alcalinidad (ALC), turbidez (NTU), Cloruros (Cl), dureza total (DT), pH, conductividad eléctrica (CE), dureza cálcica (DCa), temperatura (T) y caudal (Q). Los triángulos corresponden a los géneros y los círculos a los muestreos en las estaciones.

en un grupo biológico sensible y útil para la bioindicación de la calidad del agua. La presencia o ausencia de ciertas especies de quironómidos puede indicar cambios en las condiciones del agua y proporcionar información valiosa sobre la calidad del hábitat acuático.

Las quebradas Yomasa y La Nutria se caracterizaron por presentar alta cantidad de materia orgánica (MO) generadas por las descargas residuales de casas, edificios y comercio, lo que incrementó el consumo de oxígeno en procesos de descomposición. La Nutria, la más polucionada, presentó altas concentraciones de CO₂ como producto de desecho de la descomposición de MO, así como valores altos de alcalinidad dada la presencia de iones y de sales provenientes de los desechos de detergentes y productos de aseo; aquí, la concentración de OD (4,18 mg) estuvo por debajo del mínimo admisible para soportar flora y fauna, el cual según la ley colombiana es de 5,0 mg en aguas dulces (Decreto 1594 de 1984). La quebrada Yomasa, además de bajas concentraciones de OD, tuvo valores de turbidez NTU que sobrepasan los límites impuestos según la resolución 2115 del 2007, según la cual un valor > 15 NTU representa un riesgo para el consumo humano; en La Nutria se cuantificaron en promedio 159,33 NTU y en Yomasa 10,18 NTU. En dichas quebradas, la turbidez estuvo asociada a excretas, aceites y detergentes.

La presencia de cloruros en las quebradas urbanas es un indicador de la calidad del agua, ya que puede ser el resultado de la actividad humana, por ejemplo, las excretas

humanas aportan en promedio una concentración de 500 mg l⁻¹ (Pinedo, Marrugo-Negrete, y Paternina, 2021). Además, productos de aseo que contienen triclosán (TCS), aportan cloro a los sistemas lóticos (Cárdenas, 2011). En este estudio, se encontró que las concentraciones de cloruros fueron más altas en la quebrada La Nutria debido a la presencia constante de detergentes. En cambio, las quebradas La Vieja, Arzobispo y San Francisco, que se encuentran en zonas de protección ambiental, presentaron concentraciones más bajas debido a la ausencia de descargas domésticas. Todas estas quebradas perdieron sus servicios ecosistémicos urbanos al ser canalizadas y conducidas subterráneamente en la zona urbanizada. La presencia de cloruros en las quebradas puede tener impactos negativos en la biodiversidad de los cuerpos de agua y, por lo tanto, es importante monitorear su concentración como parte de la evaluación de la calidad del agua. La contaminación del agua tiene un efecto perturbador en la estructura de las comunidades de *Chironomidae*, reduciendo la riqueza de taxones a unos pocos grupos tolerantes y generalistas, como se observó en las quebradas contaminadas Yomasa y La Nutria que presentaron sólo dos taxones, en concordancia con lo reportado por (Couceiro *et al.*, 2007) y (Lundquist y Zhu, 2018).

Por otro lado, se corroboró que la riqueza alta de taxones de *Orthocladiinae* en las quebradas altoandinas es un patrón, tal como lo reportaron Prat *et al.* (2018). Quienes encontraron que dicha familia contribuía con un 48 % a la riqueza total de *Chironomidae* en sistemas de Perú y Colombia. Los taxones de esta familia están especialmente adaptados a ambientes fríos y de alta montaña encontrándose comúnmente en las corrientes de agua fría y ricas en oxígeno disuelto, de ahí que puedan ser utilizados como bioindicadores de la calidad del agua en estas zonas. Su ocurrencia puede indicar la presencia de otras especies de macroinvertebrados y peces que también dependen de las condiciones adecuadas del agua. Por lo tanto, la presencia de una alta riqueza de taxones de *Orthocladiinae* en las quebradas altoandinas es un indicador de la salud y la biodiversidad del ecosistema de alta montaña (Prat *et al.*, 2018; Giraldo, 2013 y Pantano, 2016) también encontraron en la quebrada La Vieja en Bogotá, que la subfamilia representaba entre 60 % y 57 % de riqueza total. *Cricotopus* presente en todas las quebradas aquí estudiadas, es uno de los géneros más diversos de la subfamilia, y está distribuido en casi todas las regiones del planeta excepto en la Antártica (Spies y Reiss, 1996), habitando en todo tipo de aguas desde las continentales hasta las marino-costeras. *Orthocladiinae* Mf1 fue el más abundante y frecuente en las quebradas, es un morfotipo conocido como género uno por Roback y Coffman (1983), quienes señalan su complejidad taxonómica por la alta diversificación en la región altoandina; los otros géneros de esta subfamilia *Limnophyes*, *Parakiefferella*, *Corynoneura*, *Thienemaniella*, *Nanocladius*, y *Parametriocnemus* han hecho parte de la quironomidofauna de la Sabana de Bogotá pues fueron reportados en estudios previos como los de Marzan (1999),

Chiguasuque Mora y Aristide (2000), Giraldo (2013) y Pantano (2016).

La riqueza baja de géneros de *Chironominae* se explicó por la ubicación a altas elevaciones de las estaciones estudiadas, ya que esta subfamilia se diversifica y abundante en tierras bajas tropicales (Oviedo-Machado y Reinoso-Flórez, 2018). La menor riqueza de taxones de la subfamilia *Tanypodinae* también es característico de la región altoandina, lo cual es respaldado por estudios como los de Prat *et al.* (2014) quienes encontraron que en la región altoandina de Colombia los *Tanypodinae* fueron la subfamilia con menor riqueza de géneros y especies. De manera similar, en un estudio realizado en los Andes peruanos, (Paredes, Iannacone, y Alvariano, 2004) reportaron una baja diversidad de *Tanypodinae* en comparación con otras subfamilias de *Chironomidae*. (Massariol y Trivinho-Strixino, 2013) reportaron una menor riqueza de *Tanypodinae* en sistemas de alta montaña en diferentes ecosistemas acuáticos de Sudamérica. Lo descrito nos permite inferir que la baja diversidad de *Tanypodinae* en la región altoandina se debe a las condiciones extremas del ambiente, como temperaturas bajas, alta irradiación y escasez de nutrientes (Massariol y Trivinho-Strixino 2013; Prat *et al.*, 2014)

Según CEPAL (2017) la urbanización planeada no es necesariamente un factor negativo para la diversidad. En los tramos altos de las quebradas La Vieja y San Francisco, la cobertura de vegetación ribereña se presentó en no menos de 10 m de ancho, con presencia de árboles, arbustos y hierbas, tanto nativos como introducidos. Además, el lecho del canal tuvo buena disponibilidad de sustratos, rocas de diferentes tamaños, así como hojarasca. Esto, más la pendiente que en promedio fue de 15 %, favoreció la oxigenación constante del agua, y la rápida descarga de posibles agentes externos contaminantes. En estos sectores, los pobladores urbanos hacen parte de los planes de manejo y gestión y son ellos quienes organizan jornadas de reforestación y limpieza de los tramos. Por tanto, buenas prácticas de manejo y acompañamiento a las comunidades urbanas son claves para soportar la calidad ecológica de las quebradas urbanas. Es relevante considerar que la contaminación de las fuentes hídricas produce pérdida de biodiversidad con implicaciones como, disminución de la resiliencia, simplificación del sistema y pérdida de integridad ecológica (Gualdoni y Oberto, 2012).

Limnophyes, *Parakiefferella*, *Parametriocnemus*, *Orthocladiinae* Mf6, *Thienemaniella*, *Corynoneura*, *Nanocladius*, *Larsia*, *Tanypodinae* Mf1 y Mf2, *Tanytarsus*, *Polypedilum* y *Riethia*, estuvieron asociadas a quebradas con buena cobertura ribereña, indicando la importancia de conservar las zonas de riberas que proporcionan hábitats para los adultos y hojarasca para las larvas en los canales. Además, fueron géneros bioindicadores de buena calidad ecológica, reportados también por López Peralta y Talero Martín (2015). (Marzan (1999) también encontró representantes de *Nanocladius* y *Thienemaniella* en quebradas no intervenidas de la cuenca alta del río Bogotá. *Polypedilum* y

Tanypodinae fueron indicadores de buena calidad ecológica en la cuenca del río Negro (Forero *et al.*, 2014). *Parametriocnemus* se encontró en una quebrada rodeada por bosque nativo en la cuenca alta del río Chinchiná-Caldas (Meza y Rubio, 2012). *Limnophyes*, *Parakiefferiella*, *Tanytarsus*, *Corynoneura* y *Larsia*, fueron encontrados también previamente en la Vieja (Giraldo, 2013); y *Riethia* se ha encontrado en quebradas sombreadas por vegetación ribereña (Trivinho-Strixino *et al.*, 2009). En estudios más recientes, como el de Escobar *et al.* (2020) y Jaramillo *et al.* (2021), se ha demostrado que el mantenimiento de la vegetación ribereña con árboles, arbustos y herbáceas favorece la riqueza de taxones acuáticos, incluso en sistemas urbanos y altamente alterados. En concordancia con esto, se encontró en las quebradas La Vieja, Arzobispo y San Francisco que cuenta con más diversidad de vegetación ribereña y buena cobertura del canal, tenían una mayor riqueza genérica de *Chironomidae*.

La sensibilidad de algunos géneros de *Chironomidae*, como *Limnophyes*, *Parakiefferiella*, *Nanocladius*, *Riethia* y *Orthoclaadiinae* Mf6, a la variación ambiental es alta, siendo altamente sensibles a disminuciones en las concentraciones de OD y al aumento de nutrientes como los estudiados (Smith *et al.*, 2021). Además, se ha corroborado que la abundancia de una población de insectos acuáticos es el resultado del acoplamiento de las cualidades innatas de los individuos con los rasgos operativos del ambiente, incluyendo la calidad del agua (Polanco *et al.*, 2008; Bonacina *et al.*, 2022).

Cricotopus, *Chironomus* y *Orthoclaadiinae* Mf1, que se asocian con mayores concentraciones de nutrientes, pueden tolerar valores promedio más altos de T, pH, CE, Cl, Nt y DBO5. *Cricotopus*, con la mayor tolerancia y el óptimo más bajo, se ha registrado como tolerante a la contaminación orgánica y se considera un taxón euritópico (Wilson y Ruse, 2005; Meza y Rubio, 2012). Tiene una amplia distribución en los Andes (Acosta, 2009) y fue abundante en ríos con contaminación moderada en la Sabana de Bogotá (Marzan, 1999). También se ha encontrado en arroyos eutróficos en Brasil (Alves *et al.*, 2015). Se ha confirmado que *Chironomus* es un excelente indicador de aguas contaminadas por materia orgánica (Geraldine *et al.*, 2023); los organismos de este taxón pueden sobrevivir a concentraciones bajas de OD debido a que las larvas poseen un tipo de hemoglobina que les confiere la capacidad de vivir en lugares con bajos niveles de oxígeno, y pocos competidores y depredadores toleran tales condiciones (Epler, 2001).

Orthoclaadiinae Mf1 es un grupo muy heterogéneo y se considera probablemente una variante de *Cricotopus*, lo que hace que su distribución sea muy amplia y, al ser euritolerante, podría ser un bioindicador de estado ecológico intermedio (Merritt *et al.*, 2008). Lo han reportado en arroyos eutróficos en Brasil (Alves *et al.*, 2015)

Aunque esta investigación genera una contribución a la comprensión de las comunidades de *Chironomidae* en sistemas acuáticos urbanos altoandinos, la validez de la biondificación basada en exuvias pupales no ha sido comprobada

experimentalmente en Colombia, siendo necesario realizar estudios adicionales para evaluar la eficacia de este enfoque.

CONCLUSIONES

Las hipótesis planteadas fueron corroboradas, las quebradas La Nutria y Yomasa presentaron mayor intervención antrópica y menor calidad ecológica. El grupo de quebradas con mejor calidad de agua estuvo integrado por La Vieja, Arzobispo y San Francisco, que reciben agua directa de zonas de reserva forestal. Esto respalda la pertinencia de los planes de manejo de los tramos de quebradas que transcurren en zonas conservadas/restauradas en los perímetros urbanos.

Todos los géneros de la subfamilia *Tanypodinae* presentaron valores de óptimos altos y bajas tolerancias, por tanto, fueron bioindicadores de buena calidad del agua. De la subfamilia *Orthoclaadiinae*, siete de los nueve géneros presentaron altos óptimos y bajas tolerancias excepto *Cricotopus* y *Orthoclaadiinae* Mf1. De la subfamilia *Chironominae*, tres géneros presentaron altos óptimos y bajas tolerancias, en tanto que *Chironomus* es un bioindicador de calidad ecológica deficiente. *Cricotopus* y *Orthoclaadiinae* Mf1 son taxones euritolerantes, aunque con preferencia a ecosistemas con alto enriquecimiento de nutrientes.

PARTICIPACIÓN DE AUTORES

WAR-S, MMG-T, RO-T: recolección de la información, análisis de datos y resultados. WAR-S, MMG-T, MCL-S: construcción y redacción del documento. MCL-S, RO-T: revisó la versión final del manuscrito y supervisó la investigación. Todos los autores aprobaron la versión final del manuscrito.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Laboratorio de Limnología y Ecología Acuática, y la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano por la financiación. A los miembros del laboratorio de Invertebrados Acuáticos de la Universidad Nacional de Colombia por brindar espacios y asesoría taxonómica; a la secretaria Distrital de Ambiente y a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá por la información secundaria; y a los Biólogos Marco Díaz, Alexander García, y Patricia Jaime por su asesoría científica.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaramos que no tienen conflictos de intereses financieros, personales o profesionales que pudieran influir en los resultados o interpretación de este estudio. Todos los patrocinadores de esta investigación han sido detallados y no hay influencias externas que hayan afectado la integridad del trabajo presentado

REFERENCIAS

- Acosta, R. (2009). The genus *Cricotopus* (Diptera: Chironomidae) in the Colombian Andes. *Zootaxa*, 2117, 1-134. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.2117.1.1>
- Alves, R. G., Siqueira, T., y Trivinho-Strixino, S. (2015). Chironomid assemblages (Diptera: Chironomidae) in streams with different trophic states from the Brazilian Cerrado. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*, 51(3), 259-268. <https://doi.org/10.1007/s10750-016-2908-2>
- APHA. (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (20th ed.). American Public Health Association-AWWA-WEF.
- Arpellino, J. P. Z., Catanzaro, L. N. S. R., Montalto, L., Siri, A. and Donato, M. (2022). Diversity, phenology and voltinism of Chironomidae (Diptera). Neotropical streams as a study model. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 94(4), e20200314. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202220200314>
- Booth, D. B., Roy, A. H., Smith, B. and Capps, K. A. (2016). Global perspectives on the urban stream syndrome. *Freshwater Science*, 35, 412-420.
- Bonacina, L., Fasano, F., Mezzanotte, V., and Fornaroli, R. (2022). Effects of water temperature on freshwater macroinvertebrates: A systematic review. *Biological Reviews*, 98, 10.1111/brv.12903.
- Braak, C. J. F. ter, and Smilauer, P. (2002). CANOCO reference manual and user's guide to Canoco for Windows: Software for canonical community ordination (version 4.5) [Software de ordenador]. Ithaca, NY: Microcomputer Power.
- Cárdenas, L. J. (2011). Agroquímicos. Química para estudiantes de Ciencias Ambientales. (1st ed., pp. 289-307). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.
- CEPAL. (2017). Desarrollo sostenible, urbanización y desigualdad en América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/b83172de-d3d6-4e45-a4d7-e5c2adb9ff0/content>
- Chalar, G., Arocena, R., Pacheco, J. P., y Fabián, D. (2011). Trophic assessment of streams in Uruguay: A Trophic State Index for Benthic Invertebrates (TSI-BI). *Ecological Indicators*, 11(2), 362-369. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.06.004>
- Chiguasuque Mora, S. E. y Aristide, L. (2000). Estudio taxonómico de la Familia Chironomidae (Diptera: Nematóceras) en el Río Teusacá con énfasis en las exuvias pupales. *Acta Biológica Colombiana*, 5(1), 76-77. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/26687>
- Cohen, B. (2006). Urbanization in developing countries: Current trends, future projections, and key challenges for sustainability. *Technology in Society*, 28(1-2), 63-80. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2005.10.005>
- Cortelezzi, A., Donato, M., Massafiero, J. and Bachmann, A. (2012). Biodiversity of Chironomidae (Diptera) in freshwater environments of Argentina: current knowledge and future directions. *Revista de biología tropical*, 60(2), 591-607.
- Couceiro, S. R. M., Hamada, N., Luz, S. L. B., Forsberg, B. R. and Pimentel, T. P. (2007). Deforestation and sewage effects on aquatic macroinvertebrates in urban streams in Manaus, Amazonas, Brasil. *Hydrobiologia*, 575(1), 197-210. <https://doi.org/10.1007/s10750-006-0373-z>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. DANE. (2018). Censo Nacional de Población y Vivienda 2018. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivienda-2018>
- Escobar, M. E. (2017). La familia Chironomidae (Diptera) en cuerpos de agua temporarios de las Sierras de Córdoba, Argentina. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 76(3-4), 89-98.
- Escobar, M. E., Escobar, L. G. y Maldonado-Ocampo, J. A. (2020). Efectos de la vegetación ribereña en la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en un río urbano de alta montaña. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 49(2), 23-42.
- 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, Aquatic Biology Section.
- Forero, L.C., Longo, M., Ramírez R., J. J. y Chalar, G. (2014). Índice de calidad ecológica con base en macroinvertebrados acuáticos para la cuenca del río Negro (ICE RN-MAE), Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 62(S2), 233-247. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i0.14220>
- Giraldo, G. (2013). *Las exuvias pupales como método de muestreo de los quironómidos en la sabana de Bogotá: El caso de la quebrada La Vieja en los cerros orientales*. [Tesis de maestría]. Pontificia Universidad Javeriana. <http://hdl.handle.net/10554/12035>
- Geraldine, M., Guevara, G., y Reinoso-Flórez, G. (2023). Chironomidae y su relación con variables fisicoquímicas en tres quebradas del río Combeima (Tolima, Colombia): Quironómidos y variables fisicoquímicas en el río Combeima. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 1(35), 32-45. <https://doi.org/10.47499/revistaaccb.v1i35.283>
- Gualdoni, C. M. y Oberto, A. M. (2012). Estructura de la comunidad de macroinvertebrados del arroyo Achiras (Córdoba, Argentina): análisis previo a la construcción de una presa. *Iheringia, Série Zoologia*, 102(2), 177-186. <https://doi.org/10.1590/S0073-47212012000200010>
- Guevara, R., Lobo, F. y Sánchez-Bayo, F. (2015). Diversidad de quironómidos (Diptera: Chironomidae) en arroyos

- de la reserva de la biosfera de la mariposa monarca en Michoacán, México. *Entomología mexicana*, 2(4), 988-995.
- Guisande, C., Vaamonde, A. y Barreiro, A. (2011). Tratamiento de datos R, Statistica y SPSS (1a ed., pp. 897-972). Ediciones Díaz de Santos. España.
- Haase, R., y Nolte, U. (2008). The invertebrate species index (ISI) for streams in southeast Queensland, Australia. *Ecological Indicators*, 8(5), 599-613. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2007.08.005>
- Hauer, F. R. y Lamberti, G. A. (Eds.). (1996). Métodos en ecología de arroyos. Prensa Académica.
- Hoyos Jaramillo, Diana y Gomes Dias, Lucimar. (2020). Contribución taxonómica a la subfamilia Chironominae de Caldas: nuevos registros, clave taxonómica y diagnosis Taxonomic contribution to the Chironominae subfamily in Caldas: new records, taxonomic keys, and diagnosis. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 44. 10.18257/raccefyn.1184.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. (2004). Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del Río Tunjuelo. Recuperado el 20 de septiembre de 2020, de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21135/CARACTERIZACION+CLIMATICA+BOGOTA.pdf/d7e42ed8-a6ef-4a62-b38f-f36f58db29aa>
- Jaramillo-Villa, U., Idárraga-García, J. y Ríos-Touma, B. (2021). Efecto de la cobertura vegetal en la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en un río altamente urbanizado de la costa Pacífica colombiana. *Revista de Biología Tropical*, 69(3), 1219-1234.
- Kranzfelder, P. (2012). Guía de identificación y clave de las exuvias pupales de quironómidos del Parque Nacional Tortuguero, Costa Rica. Department of Entomology, University of Minnesota. <https://www.semanticscholar.org/paper/Identification-Guide-and-Key-to-the-Chironomid-of-Kranzfelder/5aaa0931cb36b28d905b4e0acdea075bddb3b350>
- Kranzfelder, P. y Ferrington Jr., L. C. (2018). Diversidad de especies de Chironomidae (Diptera) en estuarios a lo largo de un gradiente de uso del suelo en la costa caribeña de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 66(3), 1118-1134. <https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v66i3.31927>
- López Peralta, R. H. y Talero Martín, G. M. (2015). Densidad Larval de Chironomidae (Insecta: Diptera) en un Meandro del Río Bogotá (Cajicá, Colombia) Durante La Niña 2011. *Revista Facultad De Ciencias Básicas*, 11(1), 48-67. <https://doi.org/10.18359/rfcb.381>
- Lundquist, C.J. and Zhu, J. (2018). The importance of riparian vegetation for aquatic insects in urban catchments: a review and meta-analysis. *Urban Ecosystems*, 21(5), 867-878.
- Magurran, A. E., Khachonpitsak, S. and Ahmad, A. B. (2011). Biological diversity of fish communities: pattern and process §. *Journal of Fish Biology*, 79(6), 1393-1412. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2011.03091.x>
- Marzan, L. W. (1999). Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua en la sabana de Bogotá. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 23(87), 541-552.
- Massariol, F. C. y Trivinho-Strixino, S. (2013). Chironomidae (Insecta: Diptera) en ambientes acuáticos de Sudamérica: una revisión. *Revista de Biología Tropical*, 61(4), 1653-1680.
- Merritt, R. W., Cummins, K. W. and Berg, M. B. (2008). An introduction to the aquatic insects of North America (4th ed.). Kendall/Hunt Publishing Company.
- Meza, E. y Rubio, E. A. (2012). Identificación de Chironomidae (Diptera) de la cuenca del río Santo Domingo, alta Amazonía, Ecuador. *Acta Zoológica Mexicana*, 28(1), 108-130.
- Odume, O. N., y Muller, W. J. (2011). Diversity and structure of Chironomidae communities in relation to water quality differences in the Swartkops River. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 36(14-15), 929-938. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2011.07.063>
- Oliveira, E. C., Galbiatti, C. and Trivinho-Strixino, S. (2019). Chironomidae larvae (Diptera) as bioindicators of water quality in urban rivers. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(2), 91.
- Ospina, R. (1992). Die Chironomidenfauna zentralamazonischer Waldbäche. [Ph.D. Tesis]. Universität München Ludwig Maximilians, Alemania.
- Oviedo-Machado, Néstor, y Reinoso-Flórez, Gladys. (2018). Aspectos ecológicos de larvas de Chironomidae (Diptera) del río Opia (Tolima, Colombia). *Revista Colombiana de Entomología*, 44(1), 101-109. <https://doi.org/10.25100/socolen.v44i1.6546>
- Pantano, N. (2016). *Estudio de las exuvias pupales de chironomidos presentes en dos tramos de la quebrada La Vieja*. [Trabajo de grado]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.
- Parsons, M., Thoms, M. and Norris, R. (2001). Australian River Assessment System: AusRivAS Physical Assessment Protocol. National River Health Program, Healthy Rivers Living Rivers, Rivers for Life, Monitoring River Health Initiative Technical Report Report Number 22.
- Paredes, C., Iannacone, J., y Alvarino, L. (2004). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos de la calidad de agua en dos ríos de Cajamarca y Amazonas, Perú. *Revista Peruana de Entomología*, 44, 107-118.
- Peeters, E. T. H. M., Gylstra, R. y Vos, J. H. (2004). Estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en relación con las variables alimentarias y ambientales. *Hidrobiología*, 519(1), 103-115. <https://doi.org/10.1023/B:HYDR.0000026497.48827.70>
- Pinder, L. C. and Reiss, F. (1986). The pupae of Chironomidae (Diptera) of the Holarctic region. In T. Wiederholm (Ed.), Chironomidae of the Holarctic region: Key and diagnoses. Part 2. Pupae (pp. 5-7). Entomological Scandinavica.
- Pinedo, J., Marrugo-Negrete, J., y Paternina, R. (2021). Evaluación de calidad del agua de la Quebrada Jui,

- afluente del río Sinú, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, 24, 10.31910/rudca.v24.n1.2021.1678
- Polanco, M., Gómez, S. y Padilla, J. C. (2008). Entomología Agrícola. Escuela de Ciencias Agrícolas, pecuarias y del Medio Ambiente. Universidad Nacional Abierta y a Distancia `UNAD`. Pereira, Colombia.
- Prat, N., González-Trujillo, J. y 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. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i4.9844>
- Prat, N., Acosta, R., Villmarín, C. y Rieradevall, M. (2018). Guía para el reconocimiento de larva de Chironomidae (Diptera) en los ríos altoandinos de Ecuador y Perú, Versión 5. Departamento de Ecología. Universidad de Barcelona. España.
- Roback, S. S. and Coffman, W. P. (1983). Results of the Catherwood Bolivian-Peruvian Altiplano Expedition Part II. Aquatic Diptera including Montane Diamesinae and Orthoclaadiinae (Chironomidae) from Venezuela. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 135, 9-79. <http://www.jstor.org/stable/4064795>
- Ruiz Moreno, J. L., Ospina Torres, R., Riss, W. y Gómez Sierra, H. (2000). Guía para la identificación genérica de larvas de quironómidos (Diptera: Chironomidae) de la Sabana de Bogotá. III subfamilias Tanytopodinae, Podonominae y Diamesinae. *Caldasia*, 22(1), 34-60. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/17550>
- Ruse, L. (2002). Chironomid pupal exuviae as indicators of lake status. *Archiv fur Hydrobiologie*, 153(3), 367-390. https://www.researchgate.net/publication/285858268_Chironomid_pupal_exuviae_as_indicators_of_lake_status
- Salamanca, G. G., Osorio, T. M. P., y Vargas, G. E. F. (2022). *El sistema de ecorregiones biogeográficas colombianas y su estado apícola productivo*. DI. Grupo de Investigaciones Mellitopalínológicas y Propiedades Físicoquímicas de Alimentos, Universidad del Tolima. Ibagué.
- Smith, R. W., Bergen, M., Weisberg, S. B., Cadien, D., Dalkey, A., Montagne, D., Stull, J. K. and Velarde, R. G. (2001). Benthic response index for assessing infaunal communities on the southern California mainland shelf. *Ecological Applications*, 11(4), 1073-1087. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2001\)011\[1073:BRIFAI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[1073:BRIFAI]2.0.CO;2)
- Spies, M. and Reiss, F. (1996). Catalog and bibliography of Neotropical and Mexican Chironomidae (Insecta, Diptera). *Spixiana*, Suppl, 22, 61-119.
- Spies M. (2008) *Parachironomusvaldiviensis*, spec. n., and other changes to nomenclature of Neotropical Chironomidae (Insecta, Diptera). *Spixiana* 31, 173-175.
- Trivinho-Strixino, S., Roque, F. O. and Cranston, P. S. (2009). Redescription of *Riethia truncatocaudata* (Edwards, 1931) (Diptera: Chironomidae), with description of female, pupa and larva and generic diagnosis for *Riethia*. *Aquatic Insects*, 31(4), 247-259. <https://doi.org/10.1080/01650420903073457>
- Villamarín, C., Villamarín-Cortez, S., Salcido, D., Herrera-Madrid, M., y Rios-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. <https://doi.org/10.15517/rbt.v69i1.40964>
- Walsh, C. J., Roy, A. H., Feminella, J. W., Cottingham, P. D., Groffman, P. M. and Morgan II, 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/10.1899/0887-3593\(2005\)024\[0706:TUSSCK\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1899/0887-3593(2005)024[0706:TUSSCK]2.0.CO;2)
- Wiederholm, T. (1980). Use of benthic macroinvertebrates in quality assessment of running waters (with special reference to the biological monitoring working group of the Nordic countries). *Oikos*, 35(3), 301-313.
- Wiedenbrug, S. y Ospina-Torres, R. (2005). Biocenosis de macroinvertebrados bentónicos en la parte baja del Río Cabrera, Meta, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 29(111), 79-88.
- Wilson, J. L. and Ruse, L. P. (2005). Chironomidae (Diptera) of Churchill, Manitoba: DNA barcodes and morphology reveal high diversity and new Canadian records. In *Proceedings of the Entomological Society of Manitoba* (Vol. 61, pp. 11-27). Entomological Society of Manitoba.