

Macroinvertebrados bioindicadores de calidad de agua en sistemas hídricos artificiales del Departamento de Boyacá, Colombia¹

Johan Hernán Pérez², Liceth Carollay Martínez-Romero³, Lizeth Tatinana Castellanos-Guerrero⁴, Angela Rocio Mora-Parada⁵, Zulma Edelmira Rocha-Gil⁶

Resumen

Introducción: Comúnmente el estudio de calidad de las aguas se realiza a través de la caracterización de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos. Sin embargo, la presencia de nuevos contaminantes que son vertidos en tiempos en los que no se logra un registro exacto de su incidencia, ha hecho que se exploren diferentes metodologías para determinar la calidad en un cuerpo de agua, como la bioindicación con organismos acuáticos. **Objetivo:** Reportar las condiciones de calidad de agua, en las represas La Playa (Tuta) y La Copa (Toca) del departamento de Boyacá, utilizando macroinvertebrados acuáticos y aspectos fisicoquímicos. **Materiales y métodos:** Las muestras fueron colectadas utilizando red Surber

en nueve puntos estratégicos de las represas durante los meses de junio–agosto del 2018. **Resultados:** Fueron colectados 979 insectos pertenecientes a cuatro órdenes, 15 familias y 19 géneros. El orden con la mayor abundancia fue Diptera (57,30 %), seguido por Hemiptera (25,02 %), Coleoptera (13,38 %) y Odonata (4,29 %). **Conclusión:** La calidad de agua en las zonas de estudio, según los índices biológicos, indica aguas ligeramente contaminadas o de baja calidad. Investigaciones de esta índole, ofrecen un análisis completo sobre el estado de un cuerpo de agua, permitiendo a entidades gubernamentales y ambientales tomar acciones necesarias para su manejo y restauración.

Palabras clave: Sistemas lénticos andinos.

1 Artículo original derivado del proyecto denominado Evaluación de servicios de impactos y servicios ambientales a nivel regional, realizado entre febrero y noviembre de 2018 y patrocinado por la Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Boyacá.

2 Magíster en Ciencias Biológicas Entomología de la Universidad Federal de Paraná, docente de la Universidad de Boyacá. Grupo de Investigación Gestión Ambiental. Autor para correspondencia. Correo: jhperez@uniboyaca.edu.co ORCID 0000-0003-1501-5195

3 Ingeniera Sanitaria de la Universidad de Boyacá. Grupo de Investigación Gestión Ambiental. Correo: licmartinez@uniboyaca.edu.co. ORCID 000-0002-4388-7217

4 Ingeniera Sanitaria de la Universidad de Boyacá. Grupo de Investigación Gestión Ambiental. Correo: lcastellanos@uniboyaca.edu.co. ORCID 0000-0002-1021-2248

5 Magíster en Ciencias Biológicas de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Grupo de Investigación en Estudios Micro y Macro Ambientales (MICRAM). Correo: angela.mora@uptc.edu.co. ORCID 0000-0002-0397-4391

6 Magíster en Ciencias Ambientales de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, docente de la Universidad de Boyacá. Grupo de Investigación Gestión Ambiental. Correo: zerocha@uniboyaca.edu.co. ORCID: 0000-0001-8331-4707

Autor de correspondencia: Johan Hernán Pérez, correo: jhperez@uniboyaca.edu.co

Recibido: 05/09/2019 Aceptado: 21/07/2020

Macroinvertebrate bioindicators of water quality in artificial hydrological systems in the department of Boyacá, Colombia

Abstract

Introduction: The study of water quality is commonly carried out by means of the characterization of physicochemical and bacteriological parameters. However, the presence of new pollutants which are discharged at times when an exact record of their incidence may not be achieved, has led to the exploration of different methodologies in order to determine quality in a body of water, namely, the bioindication through aquatic organisms. **Objective:** Report water quality conditions in La Playa (Tuta) and La Copa (Toca) dams located in the department of Boyacá, by using aquatic macroinvertebrates and physicochemical aspects. **Materials and methods:** The samples were collected using Surber sampler at nine strategic points of the dams during the months of June–August 2018. **Results:** 979 insects were collected, they belonged to four orders, 15 families and 19 genera. The order with the greatest abundance was Diptera (57,30 %), followed by Hemiptera (25,02 %), Coleoptera (13,38 %) and Odonata (4,29 %). **Conclusion:** Water quality in the studied areas, according to biological indices, indicates a slightly contaminated or poor water quality. Research of this nature offers a complete analysis of the state of a body of water, allowing governmental and environmental entities to take the necessary actions for its management and restoration.

Key words: Andean lotic systems.

Macroinvertebrados bioindicadores da qualidade da água em sistemas hídricos artificiais do departamento de Boyacá, Colômbia

Resumo

Introdução: Comumente o estudo das águas realiza-se a partir da caracterização de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos. Porém, a presença de novos contaminantes que são vertidos em tempos nos quais não tem registro exato da incidência, ao feito que se exploram diferentes metodologias para determinar a qualidade em um corpo da água, como a indicação biológica com organismos aquáticos. **Objetivo:** Reportar as condições da qualidade da água, nas represas La Playa (Tuta) e La Copa (Toca) do departamento de Boyacá, utilizando macroinvertebrados aquáticos e aspectos físico-químicos. **Materiais e métodos:** As amostras foram coletadas utilizando rede Suber em nove pontos estratégicos das represas durante os meses de junho – agosto de 2018. **Resultados:** Foram coletados 979 insetos pertencentes a quatro ordenes, 15 famílias e 19 gêneros. A ordem com a maior abundancia foi Diptera (57,30 %), seguido por Hemiptera (25,02 %), Coleoptera (13,38 %) e Odonata (4,29 %). **Conclusão:** A qualidade da água nas zonas de estudo, de acordo a os índices biológicos, indica águas ligeiramente contaminadas ou de baixa qualidade. Pesquisas de esta natureza, oferece uma análise completo sobre o estado de um corpo da água, permitindo a entidades governamentais e ambientais realizar ações necessárias para seu manejo e restauração.

Palavras-chave: Sistemas lênticos andinos.

Introducción

Los embalses o represas son sistemas acuáticos construidos para diversos usos, por tanto, son un importante caso de estudio de investigación (Jørgensen & Vollenweider, 1988), su conocimiento y el manejo de la calidad del agua es elemental, partiendo que existen pocas informaciones sobre su funcionamiento, lo que dificulta el auxilio en la protección para su conservación y gestión de estos ambientes (Cifuentes *et al.*, 2014). En las últimas décadas, estas zonas han sido sometidas a procesos intensivos de transformación y degradación causados por las actividades humanas, llevando a una reducción sustancial de la biota acuática e incluso a su desaparición (Rincon, 1996; Bernal *et al.*, 2006; Arango *et al.*, 2008; Rocha *et al.*, 2017).

Por lo general, la calidad de agua en estos sistemas se mide a través de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, los cual permite establecer su productividad y sostenibilidad (Mustapha, 2008), además estos estudios han sido útiles para entender el papel de los procesos biológicos, geológicos y atmosféricos en los ciclos biogeoquímicos de los embalses, ríos y cuencas hidrográficas (Roldán-Pérez, 1999; Heino *et al.*, 2004; Cifuentes *et al.*, 2014).

Una alternativa a estos métodos, es a través de indicadores biológicos empleando insectos acuáticos (Hurtado *et al.*, 2005; Roldán-Pérez, 2016; Murillo & Córdoba, 2017), dado que cuando existen alteraciones de carácter antropogénico, la condición física y química del agua presenta variaciones que limitan a las poblaciones de estos insectos (Guevara, 2011), sin embargo, los métodos fisicoquímicos y biológicos no son excluyentes entre sí, al no reflejar las variaciones espaciales y temporales que presenta la calidad de un sistema hídrico,

debido a factores externos e internos al cuerpo de agua, por lo que se recomienda el uso de ambos para tener un panorama amplio del estado de los ambientes acuáticos (Xie *et al.*, 2003; Sierra, 2011; Torrado, 2016).

El departamento de Boyacá y su gran extensión de páramos, ríos, quebradas, cuencas y embalses en conjunto, constituyen una alta riqueza hídrica que abastece de este importante líquido a toda la comunidad rural y urbana de más de 1.3 millones de habitantes (Celis *et al.*, 2015). Actividades de mayor intensidad en la región central del país (minería, ganadería, agricultura), han traído como consecuencia el deterioro de la oferta ambiental, especialmente del recurso hídrico, alternando su composición y funcionamiento ecológico en la mayor parte del territorio (Rincón, 2002; Medellín *et al.*, 2004; Rocha *et al.*, 2015). De aquí, la importancia de la realización de estudios que permitan explorar el estado de los ecosistemas acuáticos, generando entonces un impulso para desarrollo de investigaciones que evalúen la calidad del agua por medio de la presencia de bioindicadores. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue, reportar las condiciones de calidad de agua, en las represas La Playa y La Copa de los municipios de Tuta y Toca respectivamente, utilizando macroinvertebrados acuáticos como referente de estado del cuerpo de agua y contrastando con aspectos físicos y químicos de sustancias orgánicas e inorgánicas.

Materiales y métodos

Área de estudio.

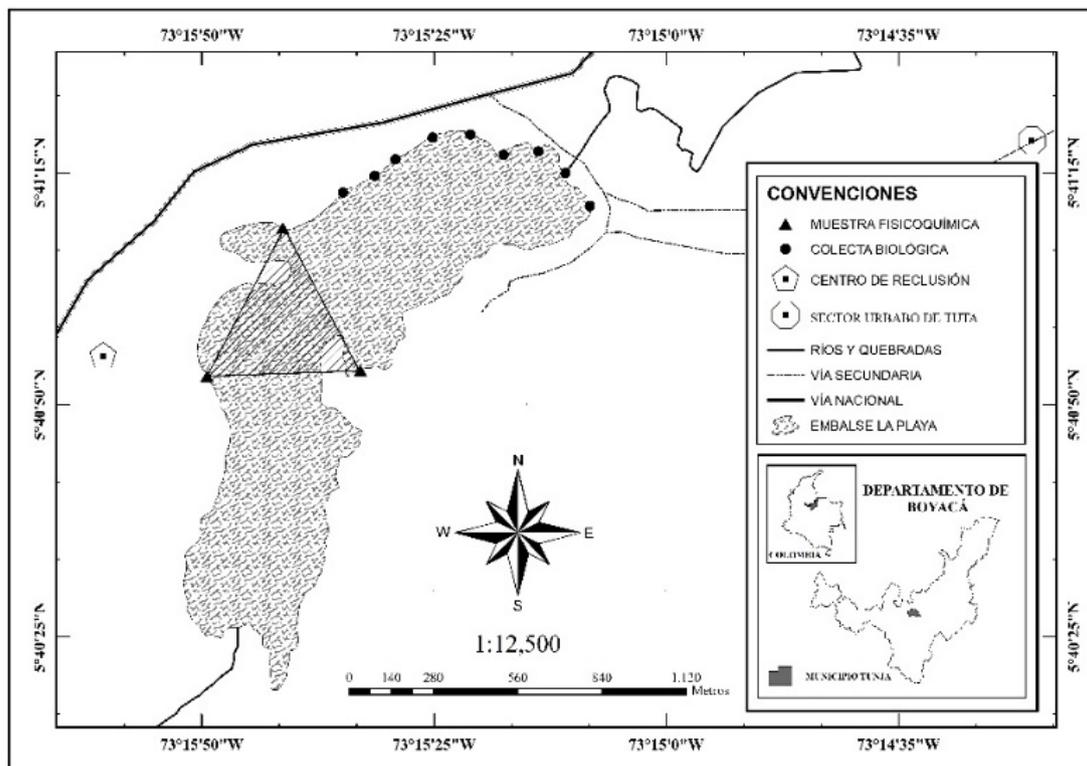
El proyecto se realizó durante los meses de junio–agosto del 2018 en temporada de sequía según comportamiento meteorológico de la zona. A partir del desarrollo de dos prácticas de campo del curso de Biología para Ingeniería Ambiental e Ingeniería Sanitaria

de la Universidad de Boyacá, se obtuvieron muestras biológicas y datos fisicoquímicos en dos represas o embalses, ubicados en la provincia Centro del departamento de Boyacá, Colombia.

La primera zona, represa La Playa (Figura 1; 5°68'71"35 N–73°25'30"27 O), ubicada en el municipio de Tuta, construida en 1966,

cuenta con un área de 128 hectáreas, altitud de 2588 m s.n.m.; temperatura promedio de 18 ° C y precipitación media anual de 1205 mm. Según Rodríguez-Zambrano & Aranguren-Riaño (2014), este embalse presta el servicio como subcuenca de la parte alta de caudal del río Chicamocha, como sistema de riego de cultivos aledaños y fuente hídrica de ganado bovino y ovino.

Figura 1. Represa La Playa, municipio de Tuta (Boyacá). Puntos de colecta material biológico y toma de muestras fisicoquímicas.

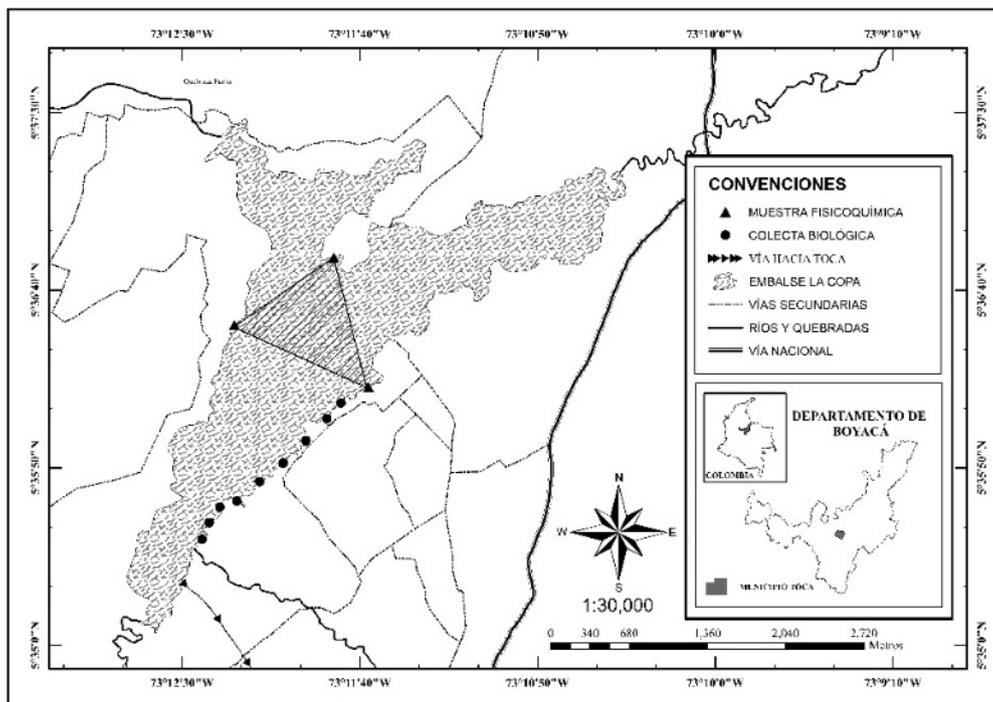


Fuente: Autor, 2019

La segunda zona de estudio se conoce como represa La Copa (Figura 2; 5°36'49" N -73°11'43" O), un sistema de agua artificial situado en el municipio de Toca y construido en el año 1990, a una altitud de 2900 m s.n.m.; con una extensión de aproximadamente 880 hectáreas. Las temperaturas en este lugar oscilan entre los 13 y 16 ° C, con precipitación media

anual de 1560 mm. Este embalse tiene una importante función, no solamente ecológica por su amortiguación hídrica, sino que, además es el principal abastecedor de riego para la cuenca media del río Chicamocha, en la actualidad presenta vertimientos provenientes de floricultivos y de actividades agropecuarias locales (Cifuentes *et al.*, 2014).

Figura 2. Represa La Copa, municipio de Toca (Boyacá). Puntos de colecta material biológico y toma de muestras fisicoquímicas.



Fuente: Autor, 2019

Trabajo de campo y laboratorio.

Las muestras biológicas fueron colectadas mediante red *Suber* con abertura de malla de 350 μm , haciendo un arrastre durante 15 minutos, en nueve puntos diferenciados por microhábitat en zonas de litoral de cada uno de los sistemas (fondo lodoso y fondo arenoso), removiendo el sustrato frente a la red (tiempo total de esfuerzo 10 minutos) (Figuras 1 y 2). El contenido de la red fue colocado en frascos previamente rotulados con datos de fecha y localidad, y se fijaron con alcohol al 90 % y glicerina para la preservación de los organismos colectados. El material se identificó a nivel de familia y género, siguiendo la clave taxonómica de Roldán-Pérez (1996); Posada-García & Roldán-Pérez (2003); Manzo (2005) & Heckman (2006).

Para el reporte de parámetros fisicoquímicos se ubicaron tres puntos (M1, M2, M3) de forma

equidistante, conformando un triángulo que abarcara la zona litoral de cada uno de los embalses (Figuras 1 y 2), con el fin de evaluar las condiciones en la temporada en donde se registra la menor variabilidad espacial debido al mínimo efecto de las escorrentías, para ello se utilizó un equipo multiparámetro (Multi340i) determinando valores como: conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura y pH. Otros registros como: Nitratos (NO_3), Nitritos (NO_2) utilizando el Kit rápido de aguas Aqua Merck.

Análisis de datos.

Para las zonas de estudio se terminó la dominancia de los taxones conforme a la abundancia relativa por familia: eudominantes (>10 %), dominantes (4-9 %), sub-dominantes (2-3 %), recesivos (<1 %), conforme Peiró & Alves (2004), frecuencia y distribución de estos, dentro del ecosistema acuático.

Para determinar la calidad del agua, se utilizó los índices BMWP/Col (*Biological Monitoring Working Party*) adaptado para Colombia por Roldán-Pérez (2003). Este índice asigna valores de 1 a 10 a las familias de macroinvertebrados colectados en campo. Los valores (1,2,3) son indicadores de aguas contaminadas y los valores altos (9 y 10) indica aguas en buen estado. Los valores obtenidos revelan el grado de tolerancia o la sensibilidad de cada grupo de macroinvertebrados a los contaminantes orgánicos, demostrando la alteración del ecosistema en que habitan. Con los datos anteriores se procedió a calcular el índice ASPT (Average Score Per Taxon), es decir, se toma el puntaje promedio por taxón medido con valores

de 1 a 10, el cual se obtiene al dividir el calor del BMWP/Col entre el número de taxones incluidos en el cálculo. Los valores inferiores a 7 indican aguas con algún grado de contaminación.

Resultados

Fueron colectados 979 insectos pertenecientes a cuatro órdenes, 15 familias y 19 géneros, en los nueve levantamientos que se realizaron en cada sistema: el orden con la mayor abundancia fue Díptera con el 57,30 % de los individuos colectados, seguido por Hemíptera (25,02 %), Coleóptera (13,38 %) y en menor representación Odonata (4,29 %) (Tabla 1).

Tabla 1. Lista de taxones, abundancia numérica, R1 (Represa La Playa), R2 (Represa La Copa), T/Gén. (número total de individuos por Género), Frec./Fam % (frecuencia por familia) y Frec./Ord % (frecuencia por orden).

Orden	Familia	Géneros	R1	R2	T/Gén.	Frec./Fam. %	Frec./Ord. %
Coleoptera	Dytiscidae	<i>Rhantus</i>	11	16	27	2,75	13,38
	Hidrophilidae	<i>Tropisternus</i>	50	23	73	7,45	
	Chrysomelidae	<i>Donacia</i>	3	0	3	0,30	
	Noteridae	<i>Hydrocanthus</i>	12	9	21	2,14	
	Gyrinidae	<i>Andogyrus</i>	3	4	7	0,71	
Diptera	Culicidae	<i>Anopheles</i>	65	30	95	38,81	57,30
		<i>Culex</i>	60	45	105		
		<i>Aedes</i>	99	81	180		
	Chironomidae	<i>Crycotopus</i>	90	91	181	18,48	
	Hemiptera	Notonectidae	<i>Notonecta</i>	15	13	28	
<i>Buenoa</i>			11	6	17		
Corixidae		<i>Centrocorisa</i>	10	7	17	2,75	
		<i>Tegobia</i>	10	0	10		
Saldidae		<i>Micracanthia</i>	2	0	2	0,20	
Pleidae		<i>Paraplea</i>	60	63	123	12,56	
Veliidae		<i>Rhagovelia</i>	2	0	2	0,20	
Gerridae	<i>Brachymetra</i>	22	24	46	4,69		
Odonata	Coenagrionidae	<i>Argia</i>	12	10	22	2,19	4,29
	Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>	11	9	20	2,10	
Total			542	437	979		

Fuente: Autor, 2019

La dominancia de los insectos por familia conforme a la abundancia relativa, registró la presencia de una mayor representación por tres taxones eudominantes: Culicidae, Chironomidae y Pleidae, cuatro dominantes: Hydrophilidae, Gerridae, Notonectidae y Calopterygidae, cinco sub-dominantes: Dytiscidae, Corixidae, Coenagrionidae, Noteridae y Coenagrionidae; los taxones identificados adicionales presentaron abundancia relativa inferior al 1 %, siendo clasificados como recesivos.

Coleóptera y Hemíptera fueron los órdenes con mayor número de familias identificadas, cinco y seis respectivamente, siendo estos citados como organismos comunes que nadan activamente en cuerpos de agua lénticos y en general con poca vegetación sumergida. Los taxones del orden Díptera encontrados fueron Culicidae y Chironomidae. La familia Culicidae fue numéricamente más expresiva con 380 individuos, representado el 38,81 % del total de los insectos encontrados. Su presencia fue eudominante en casi todos los levantamientos,

con excepción de los últimos realizados en la represa La Copa. Dentro de la familia Culicidae y Chironomidae, los taxones que presentaron mayor abundancia y frecuencia en los muestreos fueron los géneros *Aedes* y *Crycotopus*, con 361 insectos. En los dos sistemas acuáticos se observó la exclusividad de varios géneros de insectos: *Donacia*, *Tegobia*, *Micracanthia* y *Rhagovelia*, en un ambiente comparado a otro. Sin embargo, no es posible afirmar que la ocurrencia de determinado insecto es característica de un lugar, o represente las condiciones fisicoquímicas exactas de la época de muestreo asociado con sus condiciones de hábitat (Tabla 1).

La calidad de agua según el índice biótico BMWP/Col para las dos zonas de estudio, reportaron valores inferiores a 79, lo que indica aguas ligeramente contaminadas, de baja calidad o con evidencia de efectos de contaminación. La puntuación en el índice ASPT fue de 5,27, revelando la presencia de aguas moderadamente contaminadas en las dos zonas de estudio (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados índices BMWP/Col y ASPT para las dos zonas de estudio.

Índice	Valor de índice	Calidad de agua	Significado	Escala cromática
BMWP-COL	79	Aceptable (Clase II)	Ligeramente contaminadas: Se evidencian efectos de contaminación	Verde
ASPT	5,27	Dudosa (Clase III)	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo

Fuente: Autor, 2019

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos, el pH registrado en cada sistema hídrico presentó una variación de 6,5 a 7,5, indicando que el agua se encuentra en un rango neutral. Para el nitrógeno se tomaron en cuenta los nitritos (NO₂) reportando un valor promedio de 0,025 mg/l y nitratos (NO₃) donde se determinó un valor máximo promedio de 10 mg/l en las dos zonas de

estudio. En cuanto a la conductividad, las zonas de estudio presentan niveles relativamente altos (valor promedio de 643,5 μS/cm), lo cual permite identificar que el agua se encuentra contaminada; esto posiblemente a la presencia de minerales disueltos que se encuentran en el cuerpo de agua, es decir, presenta altos contenidos iónicos (Tabla 3).

Tabla 3. Registros fisicoquímicos, R1 (Represa La Playa), R2 (Represa La Copa). M: # de muestras identificadas por sistema hídrico.

Parámetro	R1			R2		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Temperatura del agua (°C)	13,8	14	14,3	16,5	14,5	17,5
pH	6,5	7,5	6,5	7,5	7,5	6,5
Nitritos (mg/l NO ₂)	0,050	0,025	0,050	0,025	0,025	0,025
Nitratos (mg/l NO ₃)	10	10	10	10	25	10
DBO ₅ (mg/l O ₂)	0,2	0,2	0,2	2	2,3	2
Conductividad (µS/cm)	642			645		

Fuente: Autor, 2019

Discusión

Con la finalidad de hacer un análisis de la calidad de agua utilizando como indicador biológico los macroinvertebrados presentes en dos sistemas hídricos artificiales en un ecosistema alto-andino, este trabajo constató un número significativo de taxones identificados y una abundancia numérica elevada de organismos comunes en áreas hídricas contaminadas (Bervoets *et al.*, 1996; Roldán-Pérez, 1999; Giacometti & Bersosa, 2006; Arango *et al.*, 2008). La alta presencia de taxones de insectos en las zonas de estudio, se debe a que estos sistemas ofrecen más hábitats y sustratos, inclusive las variaciones anuales de los períodos de lluvia/sequía, la alta radiación, la temperatura y la saturación de oxígeno perturban considerablemente el establecimiento y permanencia en estas zonas (Margalef, 1955; Riss *et al.*, 2002; Giacometti & Bersosa, 2006; Arango *et al.*, 2008; Gamboa *et al.*, 2016).

La exclusividad de taxones a nivel de género como *Donacia*, *Tegobia*, *Micracanthia* y *Rhagovelia*, en cada sistema hídrico, según su biología, estos organismos viven entre tallos y hojas de macrófitas, alimentándose tanto de materia vegetal viva, como de materia orgánica en descomposición (Maltby, 1991; Roldán-Pérez, 1999). Además, presentan

una adaptación dentro de un amplio rango de concentraciones de variables fisicoquímicas, registrado en estaciones donde las variables indican altos valores de nutrientes tales como: amonio y nitratos, y con una alta contaminación orgánica (Tokeshi, 1993; Bervoets *et al.*, 1996; Whiles *et al.*, 2000; Oviedo-Machado & Reinoso-Flórez, 2018).

El orden Diptera, siendo el más representativo durante el estudio, se caracteriza por habitar en lugares húmedos, con vegetación abundante y fango (Walteros-Rodríguez, 2010; Oviedo-Machado & Reinoso-Flórez, 2018). Específicamente, la familia Chironomidae se alimentan de materia vegetal orgánica en descomposición (Bervoets *et al.*, 1996; Murillo & Córdoba, 2017).

La familia Culicidae, son indicadores de aguas mesoeutróficas (Roldán-Pérez, 1980; Giacometti & Bersosa, 2006), es decir, se adaptan en zonas de menor grado de enriquecimiento con nutrientes que el medio les provee. Según Angerilli & Beirne (1980), la población de estos organismos son altas en ambientes que presentan baja vegetación acuática, pues la vegetación influye en la selección de hábitats para ovopositar por parte de las hembras, al producir cambios en la temperatura del agua y en su composición fisicoquímica.

El orden Hemiptera, representados por la familia Pleidae, estos individuos se clasifican como depredadores de macroinvertebrados y de otros organismos (Tokeshi, 1993; Ríos *et al.*, 2013). Estos organismos en particular, prefieren aguas quietas de extensión mediana, de poca profundidad, superficie libre y con vegetación sumergida escasa o moderadamente abundante (Morrone *et al.*, 2004; Mazzucconi *et al.*, 2008), estas estratificaciones son comunes en las dos zonas de estudio, explicando su alta abundancia.

Los coleópteros acuáticos constituyen organismos de gran importancia ecológica para ecosistemas de agua dulce (Dügel & Kazanci, 2004; Manzo, 2005; Heckman, 2006). Hydrophilidae, la familia con mayor representación en este grupo, el 75 % de las especies identificadas son acuáticas, y están adaptados a la vida en el agua o al menos en biotipos marginales a veces inundables, mientras otros son solo riparios (Oliva *et al.*, 2002). Los adultos en general se alimentan de materiales vegetales, los que están dentro del agua se alimentan de algas y perifiton pero los de mayor tamaño y las larvas son normalmente depredadoras (Roldán-Pérez, 1996; Oliva *et al.*, 2002; Riss *et al.*, 2002).

La familia Dytiscidae registró una abundancia relativamente alta, los organismos de este grupo son de mejor adaptación a la vida acuática y la más diversa de los coleópteros, pues los adultos como las larvas son netamente depredadoras (Wallace & Merritt, 1980; Resh *et al.*, 1988; Roldán-Pérez, 1999).

Según los valores asignados en los índices BMWP/Col y ASPT, las aguas de la represa La Playa y La Copa son de baja calidad, con efectos contaminantes evidentes. Estos resultados son similares a los encontrados por Castellanos *et al.* (2017) en el Embalse del Guájaro, del municipio de Repelón, Atlántico, así como Pineda & Quiroz (2015), donde corroboraron por medio de este

tipo de indicadores, que la calidad de agua en este tipo de embalses y lagunas, presentaron valores a aguas ligeramente contaminadas. Concluyen que este tipo de resultados se debe al nivel intenso de materia orgánica a elementos como la vegetación y los propios residuos de los procesos metabólicos de los organismos que allí habitan.

Siguiendo los resultados de los parámetros fisicoquímicos, y estudios previos en las zonas de estudio, es evidente que estos sistemas están influenciados en su mayoría por actividades pecuarias, industria y vertimientos, lo que posibilita la escorrentía de nutrientes (Gamboa *et al.*, 2016; Rocha *et al.*, 2017). Teniendo en cuenta los tensionantes ambientales que presentan estas dos represas, principalmente los afluentes de aguas residuales, el periodo muestreado presentó valores representativos en cuanto a NO₃ con registros entre 10 a 23 mg/l y conductividad eléctrica con valores entre 642 a 645 μ S/cm, característicos de aportes externos de materia orgánica y iones en solución de fuentes externas al sistema. Lo anterior afecta la productividad de los ecosistemas en general, debido a que muchas de las sales y otros componentes inorgánicos son difíciles de retirar del agua (Roldán-Pérez, 2003; Allan *et al.*, 2006). Estos resultados son consecuentes con estudios anteriores realizados por Cifuentes *et al.* (2014); Rodríguez-Zambrano & Aranguren-Riaño (2014).

En general, la estructura de la comunidad de macroinvertebrados depende de varios factores, algunos abióticos como las condiciones del sedimento, la profundidad, el oxígeno disuelto, el pH, la temperatura y la conductividad entre otros (Alba-Tercedor, 1996; Castellanos & Serrato, 2008; Forero & Longo, 2014). Los cambios significativos en las características fisicoquímicas del medio coinciden significativamente con las variaciones en composición y abundancia de

las comunidades acuáticas, debido a que existe una estrecha correlación entre los organismos y los factores ambientales (Roldán-Pérez, 2003). Lo planteado confirma la influencia de las características del medio sobre la permanencia de los macroinvertebrados en el ecosistema acuático, sea este un sistema Léntico o Lótico. Los diferentes métodos permiten explorar la manera cómo interactúan las estas variables fisicoquímicas con la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, a la vez que dejan observar cómo se correlacionan entre sí los dos grupos de variables (Resh *et al.*, 1988; Torrado, 2016; Rocha *et al.*, 2017).

Conclusiones

La composición de fauna de macroinvertebrados acuáticos presente en este estudio está relacionado directamente por los cambios en función de las alteraciones tróficas de las zonas de muestreo.

En este estudio se resalta la abundancia del grupo taxonómico de macroinvertebrados Culicidae, el cual fue el más representativo, con géneros indicadores de elevado nivel trófico, por tanto, una asociación con alta tensión ambiental, concordante con estudios otro tipo de comunidades biológicas como fitoplancton y zooplancton que muestran el aumento del proceso de eutrofización de estos sistemas con el tiempo.

Con los resultados del cálculo del índice de calidad BMWP/Col en cada zona de muestreo realizado durante los meses de junio – agosto de 2018, se distinguen el tipo de calidad de agua: “Ligeramente contaminadas” donde los taxones representativos dentro del estudio, encuentran condiciones propicias para su establecimiento y representatividad dentro de los sistemas.

Conflicto de intereses

Los autores declaramos que no existen conflictos de intereses que pongan en riesgo la validez de los resultados presentados.

Agradecimientos

El cumplimiento de los objetivos de este proyecto de investigación, se logró en primer instancia al grupo de estudiantes de la asignatura de Biología periodo 201810 de los programas de Ingeniería Ambiental e Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad de Boyacá, por la participación durante las campañas de muestreo. También agradecemos a los ingenieros directivos: Patricia Quevedo, Rodrigo Correal, Carlos Lara y Jorge segura, por la gestión de recursos logísticos durante el desarrollo de este estudio.

Referencias

- Alba-Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. *SIAGA*, 2, 203-213.
- Allan, J.D., Flecker, A.S., Segnini, S., Taphorn, D.C., Sokol, E. & Kling, G.W. (2006). Limnology of Andean piedmont rivers of Venezuela. *Journal of the North American Benthological Society*, 25 (1), 66-81.
- Angerilli, N.P.D. & Beirne, B.P. (1980). Influences of aquatic plants on colonization of artificial ponds by mosquitoes and their insect predators. *The Canadian Entomologist*, 112 (8), 793-796.
- Arango, M.C., Álvarez, L.F., Arango, G.A., Torres, O.E. & Monsalve, A.J. (2008). Calidad del agua de las quebradas La

- Cristalina y La Risaralda, San Luis, Antioquia. *Revista EIA*, 9, 121-141.
- Bernal, P.E., García, D.G., Bravo, M.A. & Rodríguez, A.P. (2006). Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados de la Quebrada Paloblanco de la Cuenca del Río Otún (Risaralda, Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, 11 (2), 45-59.
- Bervoets, L., Wils, C. & Verheyen, R. (1996). Tolerance of *Chironomus riparius* larvae (Diptera: Chironomidae) to salinity. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 57 (5), 829-835.
- Castellanos, K.R., Pizarro, J.R., Cuentas, K.V., Costa, J.C.A., Pino, Z., Gutierrez, L.C., Franco, O.T. & Arboleda, J.W.V. (2017). Lentic water quality characterization using macroinvertebrates as bioindicators: An adapted BMWP index. *Ecological Indicators*, 72, 53-66.
- Castellanos, P.M. & Serrato, C. (2008). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en un nacimiento de Río en el Páramo de Santurbán, Norte de Santander. *Revista de la Academia Colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales*, 32 (122), 79-86.
- Celis, C.H., Silva, S. & Valencia, S.P. (2015). *Estimaciones de población 1985–2005 y proyecciones de población 2005–2020. Total, departamental por área*. Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). 120 pp.
- Cifuentes, G.R., Gamboa, R.A.B. & Rocha, Z.E.G. (2014). *Diagnóstico fisicoquímico, biológico y microbiológico de las aguas del Embalse de La Copa (Boyacá)*. Universidad de Boyacá, Centro de Investigaciones para el Desarrollo, Facultad de Ciencias e Ingeniería. 123 pp.
- Dügel, M. & Kazanci, N. (2004). Assessment of Water Quality of the Büyük Menderes River (Turkey) by Using Ordination and Classification of Macroinvertebrates and Environmental Variables. *Journal of Freshwater Ecology*, 19 (4), 605-612.
- Forero, L.C. & Longo, M. (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 (2), 233-247.
- Gamboa, R.A.B., Osorio, G.R.C. & Rocha, Z.E.G. (2016). Indicadores bacterianos de contaminación fecal en el agua del embalse La Copa, municipio de Toca, Boyacá/ Colombia. *I3+*, 3 (1), 10-23.
- Giacometti, J. & Bersosa, F. (2006). Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi. *Série Zoológica*, 2, 17-32.
- Guevara, M.M. (2011). Insectos acuáticos y calidad del agua en la cuenca y embalse del río Peñas Blancas, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 59 (2), 635-654.
- Heckman, C.W. (2006). *Enciclopedia de los insectos acuáticos de América del Sur: Odonata–Anisoptera, Texto original: Claves ilustradas para familias conocidas, géneros y especies en América del Sur*. Kindle Edition. United States: Springer Países Bajos. 298 pp.
- Heino, J., Louhi, P. & Muotka, T. (2004). Identifying the scales of variability in stream macroinvertebrate abundance, functional composition and assemblage structure. *Freshwater Biology*, 49 (9), 1230-1239.
- Hurtado, S., Trejo, F.G. & Yurrita, P.J.G. (2005). Importancia ecológica de los

- macroinvertebrados bentónicos de la subcuenca del Río San Juan, Querétaro, México. *Folia Entomológica Mexicana*, 44 (3), 271-286.
- Jørgensen, S.E. & Vollenweider, R.A. (1988). *Principles of lake management*. Otsu: International Lake Environment Committee, United Nations Environment Programme. 154 pp.
- Maltby, L. (1991). Pollution as a Probe of Life-History Adaptation in *Asellus aquaticus* (Isopoda). *Oikos*, 61 (1), 11-18.
- Manzo, V. (2005). Key to the South America genera of Elmidae (Insecta: Coleoptera) with distributional data. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 40 (3), 201-208.
- Margalef, R. (1955). *Los organismos indicadores en la limnología*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Dirección General de Montes, Caza y Pesca Fluvial, Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. 122 pp.
- Mazzucconi, S.A., Ruf, M.L. & Bachmann, A.O. (2008). Gerromorpha y Nepomorpha (Insecta: Heteroptera) del Parque Provincial Salto Encantado del Valle del Cuñá Pirú, Provincia de Misiones, Argentina. *Instituto de Ciencias Biológicas*, 9 (1), 57-66.
- Medellín, F.C., Ramírez, M.O. & Rincon, M.E. (2004). Trichoptera of the Santuario de Iguaque (Boyacá, Colombia) in relation to water quality. *Revista Colombiana de Entomología*, 30 (2), 197-203.
- Morrone, J.J., Mazzucconi, S.A. & Bachmann, A.O. (2004). Distributional Patterns of Chacoan Water Bugs (Heteroptera: Belostomatidae, Corixidae, Micronectidae and Gerridae). *Hydrobiologia*, 523 (1), 159-173.
- Murillo, Z.M. & Córdoba, K.A. (2017). Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en tres ciénagas de la cuenca media del Atrato, Chocó – Colombia. *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó Investigación Biodiversidad y Desarrollo*, 34 (1), 22-35.
- Mustapha, M.K. (2008). Assessment of the Water Quality of Oyun Reservoir, Offa, Nigeria, Using Selected Physico-Chemical Parameters. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 8, 309-319.
- Oliva, A., Fernández, L. & Bachmann, A. (2002). Sinopsis de los Hydrophiloidea acuáticos de la Argentina (Insecta, Coleoptera). *Monografías del Museo Argentino de Ciencias Naturales «Bernardino Rivadavia»*, 1 (2), 1-67.
- Oviedo-Machado, N. & Reinoso-Flórez, G. (2018). Aspectos ecológicos de larvas de Chironomidae (Diptera) del río Opia (Tolima, Colombia). *Revista Colombiana de Entomología*, 44 (1), 101-109.
- Peiró, D.F. & Alves, R.G. (2004). Levantamento Preliminar da Entomofauna Associada a Macrófitas Aquáticas da Região Litoral de Ambientes Lênticos. *REVISTA UNIARA*, 15, 177-188.
- Pineda, P.J.C. & Quiroz, A.G.E. (2015). *Caracterización de la comunidad de microinvertebrados y la estimación de la calidad del agua en las lagunas de Chingaza, del medio y el Arnica en el Parque Nacional Natural Chingaza*. (Trabajo de grado). Universidad Santo Tomas. 116 pp.
- Posada-García, J.A. & Roldán-Pérez, G. (2003). Clave Ilustrada y Diversidad de las larvas de Trichoptera en el Nor-Occidente de Colombia. *Caldasia*, 25 (1), 169-192.

- Resh, V.H., Brown, A.V., Covich, A.P., Gurtz, M.E., Li, H.W., Minshall, G.W., Reice, S.R., Sheldon, A.L., Wallace, J.B. & Wissmar, R.C. (1988). The Role of Disturbance in Stream Ecology. *Journal of the North American Benthological Society*, 7 (4), 433-455.
- Rincón, M.E. (1996). Aspectos bioecológicos de los tricópteros de la Quebrada Carrizal Boyacá, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 22, 53-60.
- Rincón, M.E. (2002). Comunidad de insectos acuáticos de la quebrada Mamarramos Boyacá, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 28 (1), 101-108.
- Ríos, T., Vega, J.A. & Guinard, J.C. (2013). Diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos y calidad del agua de las cuencas alta y baja del río Gariché, provincia de Chiriquí, Panamá. *Gestión y Ambiente*, 16 (2), 61-70.
- Riss, W., Ospina, R. & Rodríguez, J.D. (2002). Establecimiento de valores de bioindicación para macroinvertebrados acuáticos de la Sabana de Bogotá. *Caldasia*, 24 (1), 135-156.
- Rocha, Z.E.G., Ramírez, E.S. & Rodríguez, L.Á.C. (2017). Influencia de la restauración ecológica sobre la calidad fisicoquímica y biológica del agua, caso quebrada La Colorada. *Cuaderno Activa*, 9, 77-91.
- Rocha, Z.E.G., Rodríguez, L.Á.C., Rodríguez, J.L.V. & Soler, X.D. (2015). Bioindicadores de la calidad del agua en áreas con restauración ecológica de la quebrada la colorada, Villa de Leyva, Boyacá. *I3+*, 2 (2), 10-27.
- Rodríguez-Zambrano, A.P. & Aranguren-Riaño, N.J. (2014). Comunidad planctónica de un embalse con alta tensión ambiental: La Playa, cuenca alta del río Chicamocha (Tuta, Boyacá), Colombia. *Biota Colombiana*, 15 (2), 95-110.
- Roldán-Pérez, G. (1980). Estudios limnológicos de cuatro ecosistemas neotropicales diferentes con especial referencia a su fauna de efemerópteros. *Actualidades Biológicas*, 9 (34), 103-117.
- Roldán-Pérez, G. (1996). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia*. Bogotá: Fondo Fen Colombia. 96 pp.
- Roldán-Pérez, G. (1999). Los Macroinvertebrados y Su Valor Como Indicadores de La Calidad Del Agua. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*, 23 (88), 375-387.
- Roldán-Pérez, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP Col*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. 223 pp.
- 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.
- Sierra, C.A. (2011). *Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico*. 1. ed. Medellín: Universidad de Medellín. 121 pp.
- Tokeshi, M. (1993). Species Abundance Patterns and Community Structure. (Begon, M. & Fitter, A. H., eds.) *Advances in Ecological Research*, 24, 111-186.
- Torrado, R.D.G. (2016). Evaluación de la calidad del agua del río Tejo (Ocaña, Colombia)

mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos. *Revista Ingenio UFPSO*, 9 (1), 121-132.

Wallace, J.B. & Merritt, R.W. (1980). Filter-Feeding Ecology of Aquatic Insects. *Annual Review of Entomology*, 25 (1), 103-132.

Walteros-Rodríguez, J.M. (2010). Estudio preliminar de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la Reserva forestal Torre Cuatro. *Centro de Museos Museo de Historia Natural*, 14(1), 137-149.

Whiles, M.R., Brock, B.L., Franzen, A.C. & Dinsmore, S.C. (2000). Stream Invertebrate Communities, Water Quality, and Land-Use Patterns in an Agricultural Drainage Basin of Northeastern Nebraska, USA. *Environmental Management*, 26 (5), 563-576.

Xie, Z., Cai, Q., Tang, T., Ma, K., Liu, R. & Ye, L. (2003). Structure of Macrozoobenthos of the East Dongting Nature Reserve, with Emphasis on Relationships with Environmental Variables. *Journal of Freshwater Ecology*, 18, 405-413.