

Macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en la quebrada La Calabozza (Yopal, Casanare)¹

Macroinvertebrates as bioindicators of water quality in La Calabozza stream (Yopal, Casanare)

S. A. Peña, H. A. Bohórquez, A. K. Barrera, S. S. Salamanca, D. A. Jiménez y W. A. Botello

Recibido: junio 25 de 2018 - Aceptado: mayo 31 de 2019

Resumen— En este trabajo se presenta la caracterización de macroinvertebrados que colonizan aguas de la quebrada La Calabozza (un importante sistema hídrico del departamento de Casanare), con la finalidad de determinar el estado de la calidad del agua y mejorar la comprensión de la entomofauna autóctona, en función de su respuesta a condiciones de verano e invierno. Los macroinvertebrados fueron colectados a partir de seis estaciones de muestreo e identificados a nivel de familia. Adicionalmente, se estableció su relación con diversas variables fisicoquímicas. El estado ambiental se determinó mediante la aplicación de tres índices bióticos: BMWP, ASPT y EPT. A pesar del impacto de las actividades antropogénicas, la calidad del agua de la quebrada fue catalogada como aceptable o buena. Independientemente del periodo, Ephemeroptera fue el orden predominante en la mayoría de las estaciones seleccionadas. No obstante, el periodo de invierno presentó los índices bióticos más bajos, asociado con una diferente distribución de individuos y

menor diversidad, como resultado de fluctuaciones de los parámetros fisicoquímicos del agua. Se concluye que el estado ambiental del área en estudio es altamente influenciado por el cambio de periodo, presentando mayor susceptibilidad en condiciones de invierno.

Palabras clave—Calidad del agua, bioindicador, índices bióticos, entomofauna, factores ambientales, macroinvertebrados.

Abstract— This study presents the characterization of macroinvertebrates colonizing La Calabozza creek (an important hydric system from Casanare department), to determine the status of water quality and to improve understanding of the native entomofauna, in response to summer and winter conditions. The macroinvertebrates were collected from six sampling stations and identified at the family level. And also, their relationship with various physicochemical variables was established. The environmental status was determined by the application of three biotic indices: BMWP, ASPT, and EPT. Despite the impact of anthropogenic activities, the water quality of the stream was classified as acceptable or good. Regardless of the season, Ephemeroptera was the predominant order in most of the selected stations. However, the winter period presented the lowest biotic indexes, associated with a different distribution of individuals and low diversity, as a result of fluctuations in the physicochemical state of the water. It is concluded that the environmental status of the study area is highly influenced by the change of period, presenting greater susceptibility in winter conditions.

Keywords— Water quality, bioindicator, biotic indexes, entomofauna, environmental factors, macroinvertebrates.

¹Producto derivado del proyecto de investigación “Calidad del Agua de la Quebrada La Calabozza”. Presentado por los Grupos de Investigación TERRANARE y GEASID, de la Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería de la Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL.

S. A. Peña, Fundación Universitaria de San Gil, San Gil, Colombia, email: speña@unisangil.edu.co.

H. A. Bohórquez, Fundación Universitaria de San Gil, Yopal, Colombia. email: hbohorquez@unisangil.edu.co.

A. K. Barrera, Fundación Universitaria de San Gil, Yopal, Colombia, email: karinarodriguez.kb@gmail.com.

S. S. Salamanca, Fundación Universitaria de San Gil, Yopal, Colombia, email: soniasalamanca@unisangil.edu.co.

D. A. Jiménez, Fundación Universitaria de San Gil, Yopal, Colombia, email: daninsonjimenez@unisangil.edu.co.

W. A. Botello, Universidad El Bosque, Bogotá D.C., Colombia, email: wbotello@unbosque.edu.co.

Como citar este artículo: Peña, S. A., Bohórquez, H. A., Barrera, A. K., Salamanca, S. S., Jiménez, D. A. y Botello, W. A. Macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en la quebrada La Calabozza (Yopal, Casanare), *Entre Ciencia e Ingeniería*, vol. 13, no. 25, pp. 14-22, enero-junio 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.31908/19098367.4010>.



I. INTRODUCCIÓN

LOS macroinvertebrados acuáticos constituyen un importante componente de la estructura de la comunidad biológica asociada a ambientes lóticos. Estos organismos desempeñan un rol crítico en el ecosistema, a través del mantenimiento de la estabilidad de la red trófica y balance de los ciclos biogeoquímicos[1].

Adicionalmente, dadas sus características adaptativas y

sensibilidad a diversas condiciones ambientales, el uso de macroinvertebrados como bioindicadores del estado de la calidad de sistemas hídricos, constituye una importante herramienta para el desarrollo de actividades de biomonitorio, enfocadas a la estimación del estado ambiental de ecorregiones expuestas a eventos de contaminación [2]–[4].

La Orinoquía colombiana se caracteriza por ser una región de gran biodiversidad, favorecida por las condiciones climatológicas y por la disponibilidad del recurso hídrico. En consecuencia, en los últimos años se registra un creciente interés por el estudio de la estructura y distribución de macroinvertebrados en esta área, con la finalidad de tener una visión complementaria de la estabilidad de los ecosistemas acuáticos y facilitar la descripción de sus propiedades ambientales [5]–[7]. Todo esto permite obtener una perspectiva más clara de los usos atribuibles a sistemas hídricos impactados por el desarrollo de diversas actividades antrópicas.

No obstante, tres principales problemáticas en relación con este abordaje requieren mayor atención: i) la carencia de información, dado que una gran variedad de ecorregiones no han sido caracterizadas; ii) la falta de un consenso en relación con el establecimiento de índices bióticos adecuados para la región; y iii) el desconocimiento del impacto que pueden generar las condiciones climatológicas sobre dichas estimativas, lo cual puede alterar substancialmente la percepción de la información obtenida en una época particular del año.

La quebrada La Calabozza constituye una de las fuentes tributarias del río Cravo Sur, que abastece a la capital del departamento de Casanare. A pesar de su importancia, el estado ecológico de esta microcuenca (frecuentemente intervenida por la actividad pecuaria, petrolera y turística) ha sido poco explorado. Por lo tanto, resulta de interés prioritario determinar su nivel de contaminación y grado de afectación, producto del desarrollo de dichas actividades. Asimismo, se desconoce la composición de la entomofauna asociada y su relación con las variables ambientales, un aspecto de relevancia en términos ecológicos. De acuerdo con estas condiciones, el uso de macroinvertebrados bentónicos para la estimación del estado de la calidad del agua en este sistema hídrico representa una valiosa alternativa.

Según las problemáticas mencionadas, una de las posibles estrategias para la realización del estudio de macroinvertebrados en la quebrada La Calabozza, lo constituye la determinación de diversos índices bióticos aplicados en otras regiones del país. En este contexto, podrían considerarse principalmente el índice BMWP (Biological Monitoring Working Party) [8], el índice promedio por taxón (ASPT) [9] y el porcentaje de Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera (EPT) [10], los cuales dependen de la asignación de valores de tolerancia/intolerancia de taxa específicas y su abundancia relativa. También, el efecto de los periodos de verano e invierno sobre la estructura y distribución de las

comunidades en estudio podría generar una descripción más completa del estado ambiental del sistema, así como de los principales taxa asociados.

En consecuencia, el presente trabajo tuvo como objetivo determinar el estado de la calidad del agua en la quebrada La Calabozza (Yopal, Casanare), empleando macroinvertebrados como bioindicadores. Los análisis se realizaron durante los periodos de verano e invierno, estableciendo tres índices bióticos: BMWP, ASPT y EPT, a partir de estaciones ubicadas a diferentes niveles de la quebrada. De igual modo, se realizaron análisis fisicoquímicos con el fin de establecer una posible asociación de las características ambientales con la distribución de las principales familias detectadas. Los resultados obtenidos permiten a su vez, ganar una mayor comprensión con relación a la composición de la entomofauna de la ecorregión en estudio.

II. MATERIALES Y METODOS

A. Área de estudio

El estudio se realizó en la zona denominada "Piedemonte Llanero", ubicada entre 700 y 300 msnm., en el departamento de Casanare (Yopal, Colombia). Esta zona presenta temperaturas medias de 23 a 30 °C, y un régimen de lluvias bi estacional de 3.000 a 4.000 mm de precipitación anual [11]. Los análisis hidrobiológicos fueron realizados en la quebrada La Calabozza (N 1085491; E851700), en los periodos de invierno (agosto de 2015) y verano (febrero de 2016). Para obtener un perfil representativo del área de estudio, se estableció un total de seis estaciones de muestreo (E1–E6) a diferentes niveles a lo largo del trayecto de la quebrada (Fig. 1).



Fig. 1. Estaciones de muestreo establecidas en la quebrada La Calabozza.

La colecta de los macroinvertebrados se realizó conforme a la metodología descrita en [19]. Dependiendo del tipo de sustrato, cada estación fue subdividida en tres zonas de muestreo: i) zona de bentos (sustrato rocoso); ii) neuston (sobre lámina de agua) y iii) en las orillas del cauce. Además, se dispusieron redes tipo buitrón de agua (diámetro de abertura < 250 μm), y redes de arrastre tipo D-Net, para sustratos pedregosos y para las colectas realizadas en las orillas con vegetación, respectivamente.

Dada la carencia de similitud morfológica de las

estaciones seleccionadas, el muestreo se realizó de forma compuesta. El tiempo de muestreo fue de 30 min., abarcando un área aproximada de 10 m² por estación. Los macroinvertebrados fueron cuidadosamente separados de las muestras de sedimento e impurezas adheridas a las redes mediante el lavado de esta con agua; después se depositaron en bandejas plásticas para la selección, y luego preservados en etanol (70%) hasta el desarrollo de las pruebas de identificación y cuantificación.

De igual manera, se realizó una caracterización parcial (a nivel in situ) de variables fisicoquímicas del agua en cada una de las estaciones. Para ello, se determinaron los parámetros de pH, temperatura (T), sólidos disueltos totales (SDT) y conductividad eléctrica (CE), empleando un medidor multiparámetro HANNA HI 991301.

B. Determinación de índices bióticos

Los especímenes se analizaron y cuantificaron mediante visualización estereoscópica de especímenes individuales, y se estableció su identificación hasta nivel de familia empleando claves taxonómicas apropiadas.

TABLA I
CLASIFICACIÓN DE CALIDAD DEL AGUA.

Clase	Calidad	BMWP	ASPT	%EPT	Significado
I	Buena	>150	9–10	75–100	Aguas muy limpias.
		101–120	8–9		Aguas no contaminadas.
II	Aceptable	61- 100	6,5–8	50–74	Se evidencian efectos de la contaminación.
III	Dudosa	36- 60	4,5–6,5	25–49	Aguas moderadamente contaminadas.
IV	Crítica	16- 35	3–4,5	10–24	Aguas contaminadas
V	Muy Crítica	<15	1–3	<10	Aguas fuertemente contaminadas.

Para definir el estado de la calidad del agua de la quebrada y establecer los indicadores asociados a la diversidad de macroinvertebrados presentes en cada estación muestreada, se aplicaron los siguientes índices bióticos: (i) BMWP (Biological monitoring working party), el cual fue calculado conforme al procedimiento descrito por [8], considerando la presencia o ausencia de familias específicas en cada estación. Las puntuaciones obtenidas para este índice se relacionaron con 5 categorías (o clases) de calidad del agua, conforme a la Tabla I; (ii) ASPT (Índice promedio por taxón), obtenido de la relación entre el índice BMWP y el número de familias (incluidas en dicho índice) detectadas en cada estación [12]; (iii) % EPT (Índice Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera), definido como la suma de todos los individuos pertenecientes a estos órdenes, dividido por el número total de individuos colectados.

La diversidad se estimó mediante los índices de Margalef y de Shannon–Weaver, teniendo en cuenta el número total de familias identificadas y el número de individuos cuantificados por estación. Asimismo, se estimó el índice de dominancia de Simpson. A partir de cada uno de los índices detectados se generó una representación cartográfica indicando el estado de la calidad de agua en cada una de las estaciones, con los respectivos trayectos seleccionados para los dos periodos estudiados.

C. Análisis de datos

La distribución de los diferentes taxa detectados en el análisis hidrobiológico y la asociación de los diversos índices bióticos con variables ambientales determinadas en cada una de las estaciones, se realizó por medio de análisis de correspondencia canónica (ACC) y análisis de componentes principales (ACP), respectivamente. Para el análisis se empleó el software R (versión 3.5.1). Previos análisis determinaron la correlación significativa entre la mayoría de las variables consideradas, lo cual justificó el uso de métodos multivariados. Todas las variables se estandarizaron a la misma escala. Para la evaluación de la distribución de las familias se consideraron las variables de pH, T, CE, SDT y altitud. y los taxa que presentaron una abundancia inferior a 10% fueron excluidos. En el PCA, se tuvieron en cuenta las variables de BMWP, ASPT, %EPT, CE, SDT: diversidad, dominancia, número de taxa y altitud. Solo los dos componentes que explicaron la mayor varianza de los datos fueron considerados.

III. RESULTADOS

A. Parámetros fisicoquímicos

Los análisis fisicoquímicos evidenciaron una mayor fluctuación de las características del agua en el periodo de invierno, durante el cual se obtuvieron los más altos niveles de CE y SDT (Tabla II). Estos valores son consistentes con las características climatológicas, dado que los índices de precipitación en invierno (>200 mm/mes) [11] inducen a un incremento del caudal en el sistema, que puede generar eventualmente el arrastre de sólidos asociados al sedimento.

Adicionalmente, en el periodo de invierno se presentó una alta variación en los valores de pH (aproximadamente 2 unidades). La mayor diferencia en relación con este parámetro se evidenció en la estación E5 (514 msnm.) y en la estación E4 (503 msnm.), las cuales registraron un pH de 6,96 y 5,05, respectivamente. Estas fluctuaciones sugieren un cambio de las propiedades del agua, incluso en estaciones cercanas, que pueden influenciar significativamente la estructura de las comunidades bióticas de la zona. Con relación a la temperatura, las determinaciones en cada una de las estaciones para los dos periodos mostraron una tendencia similar, con valores medios de $23,8 \pm 0,6$ y $23,7 \pm 0,2$ para los periodos de verano e invierno, respectivamente.

B. Abundancia y distribución de macroinvertebrados

Un total de 728 individuos correspondientes a 10 órdenes y 46 familias fueron identificados a partir de las muestras colectadas en las estaciones E1–E6, en los dos periodos. Los

órdenes predominantes fueron Ephemeroptera, Trichoptera, Hemiptera y Díptera (Fig. 2). Por otra parte, miembros de los órdenes Tricládida y Amphipoda se detectaron únicamente en periodo de verano (estaciones E1 y E5, respectivamente).

TABLA II
PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DETERMINADOS EN CAMPO PARA LOS PERIODOS DE VERANO E INVIERNO EN CADA UNA DE LAS ESTACIONES ANALIZADAS (E1-E6).

Estación	pH	T (°C)	SDT (mg L ⁻¹)	CE (µS)
<i>Verano</i>				
E1	5,51	23,7	22	43
E2	5,27	23,0	18	36
E3	5,3	24,7	12	24
E4	5,33	23,7	10	15
E5	5,27	24,1	4	22
E6	5,31	23,7	12	26
<i>Invierno</i>				
E1	5,56	23,7	147	273
E2	5,25	23,3	145	269
E3	5,07	23,6	142	263
E4	5,05	23,9	143	327
E5	6,96	23,8	190	320
E6	6,53	23,7	80	180

Como puede observarse en la Fig. 2 (a), el perfil de los órdenes identificados en verano fue similar en las estaciones E1-E3 y en las estaciones E4-E6. La principal diferencia entre estos grupos fue la mayor abundancia de Ephemeroptera y Trichoptera (estaciones E4-E6). Dichos órdenes incluyen miembros indicadores de buena calidad del agua [12], [13], y su abundancia puede indicar un mayor equilibrio del estado ecológico del sistema hídrico. En contraste, el periodo de invierno presentó diferente distribución en el perfil de estos órdenes, ya que se encontró una alta abundancia de Ephemeroptera en las estaciones E1 y E3, y baja en E4-E6, mientras que las estaciones E2-E6 presentaron una alta abundancia de Trichoptera, Fig. 2 (b). En ambos periodos, los niveles de Plecóptera fueron bajos y se presenta la mayor abundancia en la estación E5 (verano) y E3 (invierno).

El orden Hemiptera reveló diferente distribución en la estación de verano, con una abundancia relativa entre 16-27% en las estaciones E1-E3, Fig. 2 (a). No obstante, este orden fue prácticamente indetectable en las estaciones E4-E6. Durante el periodo de invierno la distribución de Hemiptera fue más equilibrada, cuya abundancia media corresponde a 9-18% (a excepción de la estación E3). Por otra parte, el orden Díptera presentó una abundancia de 31%, que la ubica en el segundo orden en importancia después de Trichoptera, en la estación E4 en el periodo de verano, mientras que Díptera se identificó como indicador de contaminación del agua [14]. Bajo las condiciones evaluadas en el presente estudio, su abundancia puede representar un evento de contaminación

precedente al momento de colecta de muestras, dado que en dicha estación coexisten organismos con alto grado de sensibilidad a condiciones ambientales adversas.

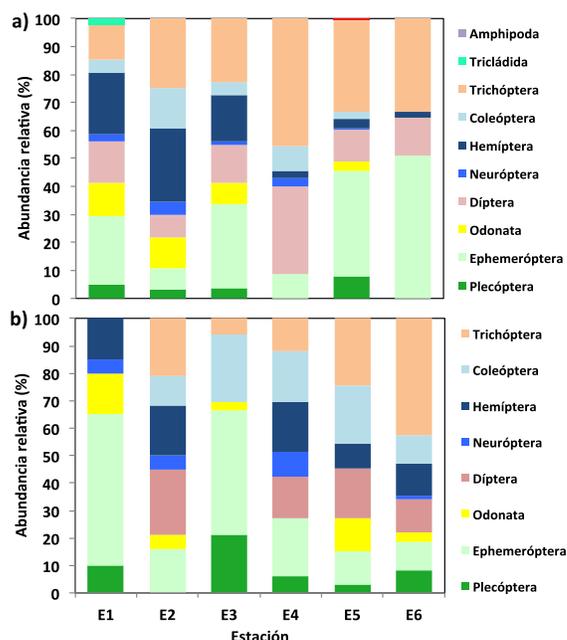


Fig. 2. Abundancia relativa de macroinvertebrados (a nivel de orden) detectados en las estaciones seleccionadas (E1-E6) para los periodos de verano (a) e invierno (b).

A nivel de familia, se detectó un total de 40 y 29 taxa para los periodos de verano e invierno, respectivamente.

La Fig. 3 relaciona el análisis de correspondencia canónica (ACC), que fue realizado considerando algunas variables ambientales y las familias más abundantes detectadas en cada una de las estaciones. Como puede observarse, los resultados sugieren que los parámetros de pH, SDT, T estuvieron asociados a la distribución de la mayoría de los taxa de macroinvertebrados. Dado que el periodo de invierno presentó las mayores variaciones de pH, el ACC para este periodo, permitió evidenciar una alta influencia de dicho parámetro sobre agrupación de diversos taxa. Por ejemplo, Hydrophilidae, Naucoridae, Odontoceridae y Helicopsychidae presentaron correlación con un alto valor de pH, Fig. 3 (b).

En el periodo de invierno, los mayores niveles de pH se evidenciaron en las estaciones de mayor altitud. Es importante aclarar que el pH puede afectar el desarrollo de diversas comunidades de macroinvertebrados, normalmente las más sensibles a fenómenos de contaminación, que deben adaptarse a condiciones del entorno. Por su parte, las familias Odontoceridae y Ceratopogonidae presentaron una alta correlación en función de la altitud, y moderada con la temperatura, lo cual se evidenció en los dos periodos (Fig. 3 a-b). Esta observación sugiere que ambas familias presentan requerimientos ambientales similares.

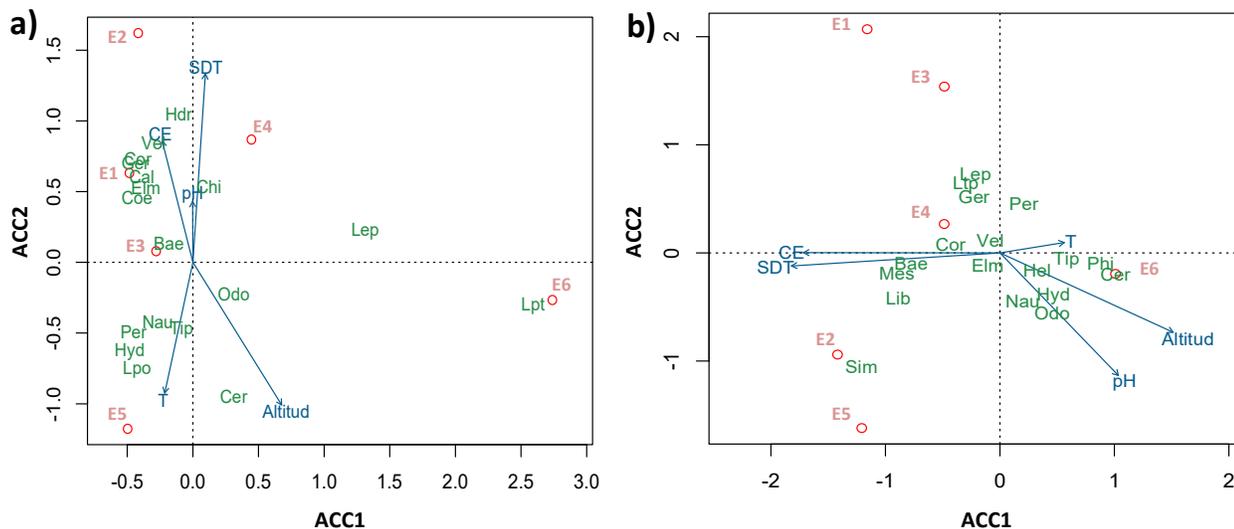


Fig. 3. Análisis de correspondencia canónica (ACC) de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos identificados a nivel de familia y su relación con variables ambientales seleccionadas para verano (a) e invierno (b). Abreviaturas: Bae: Baetidae; Cal: Calopterygidae; Cer: Ceratopogonidae; Chi: Chironomidae; Coe: Coenagrionidae; Cor: Corydalidae; Elm: Elmidae; Ger: Gerridae; Hel: Helicopsychidae; Hyd: Hydropsychidae; Hdr: Hydropsychidae; Lep: Leptoceridae; Lib: Libellulidae; Lpt: Leptohiphidae; Lpo: Leptophlebiidae; Nau: Naucaridae; Odo: Odontoceridae; Per: Perlidae; Tip: Tipulidae; Tri: Tricorythidae; Vel: Veliidae.

De igual manera, se evidenció una alta correlación entre la temperatura y la presencia de Tricorythidae en ambos periodos. Esta familia presentó correlación negativa a la concentración de SDT y conductividad. Con respecto a la conductividad, ambos periodos mostraron correlación de diversos taxa con el incremento de este parámetro, principalmente Baetidae y Corydalidae.

La distribución de macroinvertebrados está condicionada además, a la disponibilidad de nutrientes y concentración de elementos esenciales [15]. Esto podría ser aplicado a la familia Leptohiphidae, la cual no mostró una correlación evidente con los parámetros ambientales considerados en el presente estudio. En consecuencia, factores adicionales podrían explicar la tendencia observada para establecer las causas de su predominancia en esta estación.

C. Determinación de índices bióticos y calidad del agua

El periodo de verano presentó los mayores valores de BMWP (Fig. 4a), y los mayores índices de diversidad ($>5,5$) (Tabla III), situación que sugiere una alta calidad del agua asociada a las estaciones muestreadas en estas condiciones. Por otra parte, en el periodo de invierno los mayores valores de BMWP se obtuvieron solo en la estación E6, así como la mayor diversidad en comparación con las demás estaciones.

Los índices ASPT y %EPT, empleados para complementar el análisis del estado de la calidad del agua (Fig. 4 b-c), fueron consistentes con los niveles de BMWP, especialmente para la estación E2, que enseñó los menores puntajes para todos los índices considerados. El %EPT presentó un incremento en función del trayecto de muestreo establecido para la estación de verano; esta tendencia puede indicar un deterioro de la calidad del agua de la quebrada en función de la estación de muestreo.

TABLA III
ÍNDICES DE DIVERSIDAD PARA LAS ESTACIONES DE MUESTREO DURANTE LOS PERIODOS DE VERANO E INVIERNO.

Parámetro	Estación					
	E1	E2	E3	E4	E5	E6
<i>Verano</i>						
Taxa	12	17	23	13	26	12
Individuos	41	64	81	35	151	46
Margalef	2,96	3,85	5,01	3,38	4,98	3,83
Shannon	2,30	2,30	2,74	2,18	2,49	1,88
Dominancia	0,11	0,15	0,09	0,15	0,14	0,25
<i>Invierno</i>						
Taxa	8	11	9	13	12	24
Individuos	19	40	41	33	33	155
Margalef	2,38	2,71	2,15	3,43	3,16	4,57
Shannon	1,74	2,26	1,77	2,37	2,23	2,65
Dominancia	0,24	0,12	0,22	0,11	0,13	0,10

El porcentaje de EPT para el periodo de invierno presentó menores valores en comparación con el periodo de verano en las estaciones E3–E6, indicando que el cambio de estación influyó en la abundancia de los miembros de las familias de dichos órdenes. Las estaciones que presentaron la mejor calidad de agua fueron E5 y E6 durante los dos periodos.

Conforme a lo mostrado en la Tabla III, los índices de diversidad obtenidos para cada estación fueron generalmente superiores en el periodo de verano, situación que también se evidencia en el número de taxa cuantificadas. No obstante, se observó una clara diferencia entre los índices de dominancia determinados. La estación E6 en el periodo de verano presentó la mayor dominancia, representada principalmente por la alta abundancia de la familia Leptohiphidae. En el periodo de invierno, la mayor dominancia la registró la estación E1, representada por la familia Leptophlebiidae. Estas dos familias representan organismos indicadores de buena calidad del agua, y

sugiere que, a pesar de las probables alteraciones ocasionadas sobre el sistema hídrico a lo largo de su trayectoria, en el periodo de invierno se generan condiciones que tienden a favorecer una efectiva autodepuración.

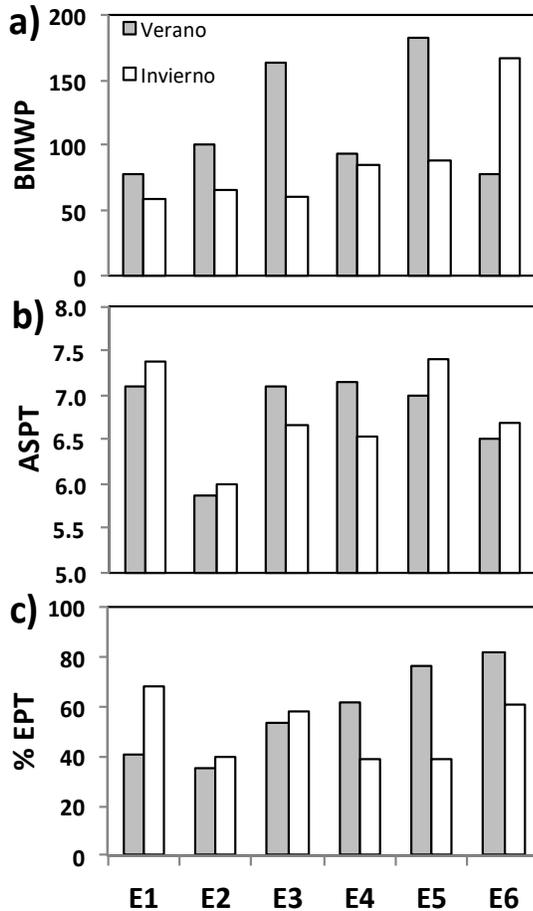


Fig. 4. Valores de los índices bióticos determinados en las estaciones E1-E6. a); BMWP; b) y ASPT; c) %EPT.

En la Fig. 5 se relaciona el análisis de ACP (representado por una varianza de 61,2%), en el cual se emplearon los índices bióticos y las variables ambientales para cada una de las estaciones. El primer componente está asociado a los taxa, diversidad, BMWP, altitud y temperatura. En el segundo componente se asocia el pH, ASPT, %EPT dominancia y moderadamente la CE y los SDT. Como puede observarse, en el periodo de verano las estaciones E3 y E5 presentaron mayores índices de BMWP y diversidad. Estas estaciones incluyeron el mayor número de taxa y mayores valores de temperatura. Además, el análisis demostró que las estaciones E1, E2, E4 y E6 se correlacionan principalmente con el parámetro %EPT y de dominancia, asociado a bajos niveles de pH, pero también con bajos valores del índice ASPT. Por esta razón, para el periodo de verano se puede concluir que las estaciones E3 y E5 presentaron la mejor calidad de agua, y que los niveles obtenidos para las demás estaciones son moderadamente buenos.

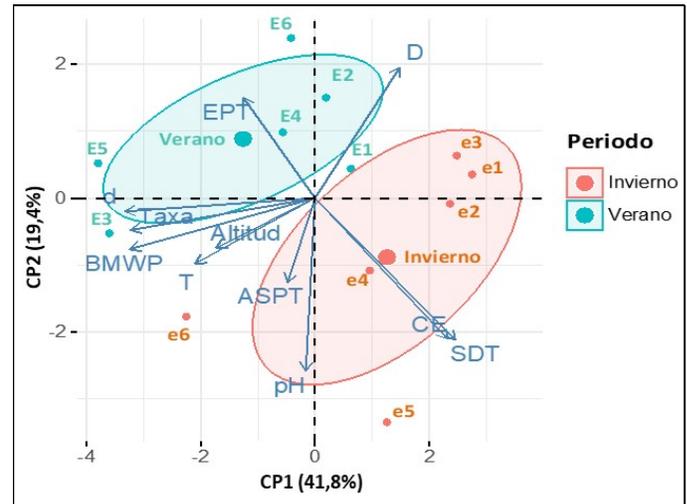


Fig. 5. Distribución de las estaciones (E1-E6) en los periodos de verano e invierno determinada por ACP.

Asimismo, en el periodo de invierno se reconoció una alta correlación con niveles altos de CE y SDT. En este periodo, las estaciones E1-E3 registraron los más bajos puntajes de BMWP y la menor diversidad, lo que indica que la estación E3 fue considerablemente alterada por el cambio de estación. Las estaciones E4 y E5 presentaron una alta correlación con los niveles de CE y SDT, y una baja asociación con el índice EPT. Según estos resultados, el pH puede influenciar en gran medida la distribución de los organismos pertenecientes a estos órdenes, como se corroboró también por el ACC realizado para este periodo (Fig. 3b).

De igual manera, durante el periodo de invierno se observó una clara influencia de la altitud con relación a la calidad del agua. Como puede observarse, existe una asociación entre la altitud y el índice ASPT, según se desprende de la estación E6 que presentó una moderada correlación con estos dos parámetros. Por lo tanto, considerando los resultados obtenidos para el periodo de invierno, se concluye que la calidad del agua de las estaciones está asociada con la altitud (a menor altitud menor calidad), y también con la influencia de parámetros como pH y temperatura, sobre la estructura de macroinvertebrados bioindicadores.

IV. DISCUSIÓN

En este estudio se determinó la diversidad y distribución de macroinvertebrados que colonizan la quebrada La Calabozza (Yopal, Casanare), con el fin de establecer el estado de la calidad del agua e incrementar la información asociada a la composición de la entomofauna acuática de la región de la Orinoquía colombiana, particularmente en el Piedemonte Llanero. A pesar de que el área en estudio presenta cierto grado de intervención humana asociada en especial a actividades turísticas, agrícolas y ganaderas, el análisis integrado de diversos índices bióticos permitió establecer que, en general, la calidad del recurso hídrico no se encuentra considerablemente alterada, y se conserva en un rango aceptable o bueno (Fig. 6). No obstante, al considerar los periodos analizados (invierno y verano) se presentaron algunas diferencias relacionadas principalmente con las características

fisicoquímicas de las estaciones seleccionadas, lo que permitió observar diferente distribución y abundancia de macroinvertebrados y, por consiguiente, un cambio en el perfil de la calidad del agua.

Los resultados obtenidos evidencian una alta correlación entre la altitud de las estaciones y el pH determinado a nivel *in situ* en el periodo de invierno (Fig. 2b). Esta condición puede estar asociada con la reducción de la diversidad y el número de taxa detectadas, principalmente del orden Trichóptera, generando la reducción del índice BMWP y del %EPT.

Dicha observación se evidencia en otros autores, quienes han demostrado que valores de pH entre 5–5,3 influyen en la reducción del número de taxa, particularmente del orden Ephemeroptera y Trichoptera [12], [16].

Por el contrario, los niveles de pH detectados en el periodo de verano entre las estaciones fueron similares, encontrándose entre 5,27 y 5,51 (Tabla II) y, por lo tanto, las comunidades de macroinvertebrados en este periodo no se ven expuestas a una fluctuación que pueda afectar sus condiciones de crecimiento. Tal condición podría explicar la relativa abundancia de miembros del orden Díptera en dicho periodo, que presentan una mayor tolerancia a niveles bajos de pH [17].

Con relación a la conductividad y concentración de sólidos disueltos, los análisis mostraron que en el periodo de invierno estas variables son relativamente altas en comparación con el periodo de verano, e indican que las condiciones climatológicas son determinantes. Los valores obtenidos son consecuentes con los reportados para sistemas hídricos de la altillanura en una época similar del año, aunque en análisis realizados a partir de esteros semipermanentes [6] se identificó un número similar de taxa que el reportado en el presente estudio. Pese a que la conductividad fue menor en función de la altura de las estaciones, no se verificó una relación significativa entre este parámetro y la abundancia de taxa sensible a la contaminación del sistema. De hecho, las estaciones que presentan menor calidad de agua en invierno (E1–E3), presentan los índices más bajos de CE en este periodo.

De otro lado, a pesar de que las variables fisicoquímicas empleadas lograron explicar gran parte de la distribución de las familias asociadas al área de estudio, los factores que inciden en la dominancia de Leptohiphidae en la estación E6 durante el periodo de verano no fueron completamente establecidos. Es necesario resaltar que la abundancia de comunidades de macroinvertebrados asociados a un hábitat particular, se encuentra relacionada con múltiples factores, por ejemplo, concentración de macro y micronutrientes, oxígeno disuelto e interacciones con otros organismos, entre otros [18]. Por lo tanto, la determinación de estas variables podría representar un abordaje relevante para el desarrollo de estudios encaminados a profundizar los aspectos ecológicos de las familias de macroinvertebrados asociados a sistemas hídricos de la región.

Dado que el periodo de invierno presentó los menores índices de calidad del agua, un factor importante a considerar para la proyección de los diversos usos del recurso durante este periodo, por ejemplo, su captación para potabilización deberá relacionarse con la capacidad de autodepuración del

sistema.

Los resultados del presente trabajo sugieren que, a pesar de las posibles afectaciones antropogénicas y climatológicas del área de estudio, la quebrada La Calabozza cuenta con un factor de autodepuración que le permite contrarrestar los posibles efectos adversos que alteren las propiedades del agua. Adicionalmente, el uso de macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua constituye una importante herramienta para evidenciar dicho potencial, pues la distribución y abundancia de taxa específicos puede indicar eventos de contaminación, incluso en periodos prolongados de tiempo [19].

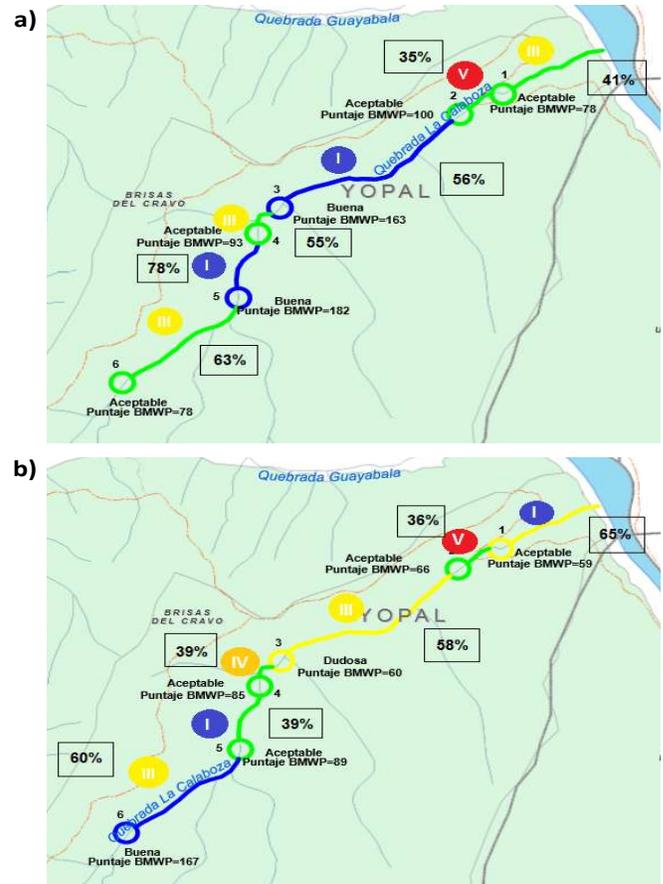


Fig. 6. Mapa de la calidad del agua de la quebrada La Calabozza para los periodos de verano (a) e invierno (b). Los círculos señalan índice ASPT; los cuadros negros indican %EPT.

Para la representación cartográfica (Fig. 6) se consideraron las características de la calidad del agua en función de los umbrales establecidos en la Tabla I. Como se evidencia, los tres índices indicaron una tendencia similar y permitieron establecer las zonas más críticas para cada uno de los periodos, aunque para representar adecuadamente la variación presentada entre los periodos considerados fue necesario asociar los tres índices bióticos. Lo anterior llevó a establecer una mayor aproximación al estado del sistema hídrico, necesario para clasificar el estado de la calidad del agua y conocer el estado ecológico.

Consecuentemente, en este estudio se observó que la

aplicación de diversos índices bióticos en el análisis de macroinvertebrados para dos periodos (verano e invierno) es fundamental para el establecimiento de la calidad del agua en la quebrada La Calaboz. Finalmente, los resultados obtenidos revelaron la presencia de una alta diversidad de macroinvertebrados en la región de Piedemonte, la cual requiere mayor atención y desarrollo de estudios que permitan esclarecer, aparte de las condiciones ambientales, sus relaciones tróficas y su efecto sobre el ecosistema.

V. CONCLUSIONES

El uso de macroinvertebrados como bioindicadores del estado ambiental de la quebrada La Calaboz demostró que la calidad del agua en este sistema hídrico es aceptable o buena, conforme a los índices bióticos empleados. La menor abundancia evidenciada en el periodo de invierno, y la diferente distribución de macroinvertebrados generada como consecuencia de la fluctuación de parámetros fisicoquímicos sugiere que, bajo estas condiciones, las aguas de la quebrada presentan mayor susceptibilidad a las perturbaciones ambientales.

No obstante, de acuerdo con los análisis establecidos se evidenció que la quebrada presenta potencial de autodepuración, lo cual se corrobora con la predominancia de miembros del orden Ephemeroptera en la estación de menor altitud. Finalmente, considerando la gran variedad de taxa encontrada, se concluye que esta zona alberga una interesante diversidad a nivel de su entomofauna que abre la oportunidad para la generación de estudios encaminados a establecer sus relaciones tróficas y su rol en el ecosistema.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al personal adscrito al Laboratorio de Ciencias Básicas de UNISANGIL Sede Yopal.

REFERENCIAS

- [1] Ocampo, K., Francis, K., Froehlich, O., and Cavallaro, M. R. "Structure of macroinvertebrate communities in riffles of a Neotropical karst stream in the wet and dry seasons," vol. 22, no. 3, pp. 306–316, 2010. DOI: 10.4322/actalb.02203007
- [2] Gamarra, Y., et al. "Aplicación del protocolo CERA-S para determinar la calidad ecológica de la microcuenca Mamarramos (cuenca Cane-Iguaque), Santuario de Fauna y Flora Iguaque (Boyacá), Colombia," *Biota Colomb.*, vol. 18, no. 2, pp. 11–29, 2018.
- [3] Svensson, O., Bellamy, A. S., den Brink, P. J., Tedengren, M., and Gunnarsson, J. S. "Assessing the ecological impact of banana farms on water quality using aquatic macroinvertebrate community composition," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, pp. 1–9, 2017.
- [4] Kuzmanovic, M., et al. "Environmental stressors as a driver of the trait composition of benthic macroinvertebrate assemblages in polluted Iberian rivers," *Environ. Res.*, vol. 156, pp. 485–493, 2017.
- [5] Moreno, F., Caro, C. I., Pinilla, G. A., and Osorio, D. P. "Estado actual del conocimiento sobre microalgas del perifiton y macroinvertebrados bentónicos en el departamento del Meta, Colombia," *Acta Biológica Colomb.*, vol. 22, no. 3, pp. 274–306, 2017.
- [6] Camacho, J., and Camacho, C. "Aspectos sobre la historia natural de macroinvertebrados en esteros semipermanentes de la altillanura en el departamento de Casanare," *Orinoquia*, vol. 1, pp. 71–82, 2010.
- [7] Paredes, P., and Briceth, K. "Caracterización de los ensamblajes de macroinvertebrados acuáticos en arroyos del campus Utopía-Universidad de La Salle (Yopal-Casanare)," 2017.
- [8] Roldán, G. A. *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Uso del método BMWP/Col.* Medellín, 2003.

- [9] Montoya, Y., Acosta, Y., and Zuluaga, E. "Evolución de la calidad del agua en el río Negro y sus principales tributarios empleando como indicadores los índices ICA, el BMWP/COL y el ASPT," *Caldasia*, vol. 33, no. 1, pp. 193–210, 2011.
- [10] Torrentes, M. P., et al. "Aplicación de tres índices bióticos en el río San Juan, Andes, Colombia," *Mutis*, vol. 6, no. 2, pp. 59–73, 2016.
- [11] Castro, G., and Sosa, M. "Descripción de datos climatológicos para el periodo 2012-2015 en El Yopal (Casanare, Colombia)," vol. Rev. Med., no. 35, pp. 73–81, 2017. DOI: 10.19052/mv.4390
- [12] Lewin, I., Czerniawska, I., Szoszkiewicz, K., Ławniczak, A. E., and Jusik, S. "Biological indices applied to benthic macroinvertebrates at reference conditions of mountain streams in two ecoregions (Poland, the Slovak Republic)," *Hydrobiologia*, vol. 709, no. 1, pp. 183–200, 2013. DOI: 10.1007/s10750-013-1448-2
- [13] Suhaila, A. H. and Che Salmah, M. R. "Application of aquatic insects (Ephemeroptera, plecoptera and trichoptera) in water quality assessment of Malaysian headwater," *Trop. Life Sci. Res.*, vol. 28, no. 2, pp. 143–162, 2017. DOI: 10.21315/tlsr2017.28.2.11
- [14] Arango, M. C., Álvarez, L. F., Arango, G. A., Torres, E. L., and Monsalve, D. E. "Calidad del agua de las quebradas La Cristalina y La Risaralda, San Luis, Antioquia," *Rev. ELA*, no. 9, pp. 121–141, 2008.
- [15] Maloney, C. E. "The effects of micronutrient additions on soil invertebrate activity and community structure along a successional gradient," phdthesis, Bowling Green State University, 2017.
- [16] Tripole, S., Vallania, E. A., and Corigliano, C. "Benthic macroinvertebrate tolerance to water acidity in the Grande river sub-basin (San Luis , Argentina)," vol. 27, no. 1, pp. 29–38, 2008.
- [17] Raddum, G. G., Fjellheim, A., and Hesthagen, T. "Monitoring of acidification by the use of aquatic organisms: With 3 figures and 1 table in the text," *Int. Vereinigung für Theor. und Angew. Limnol. Verhandlungen*, vol. 23, no. 4, pp. 2291–2297, 1988.
- [18] Li, S., Yang, W., Lizhu, W., Chen, K., Xu, S., and Wang, B. "Influences of environmental factors on macroinvertebrate assemblages : differences between mountain and lowland," vol. 190, no. 152, pp. 1–13, 2018.
- [19] Álvarez, L. F. *Metodología para la evaluación de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de los recursos hidrobiológicos*, I. Medellín: Instituto Alexander Von Humboldt, 2005.

Sergio Andrés Peña Perea. Es Ingeniero Sanitario y Ambiental de la Universidad de Boyacá. Especialista en Gerencia de Proyectos de la misma institución y estudiante de Maestría en Recursos Energéticos. Su experiencia se enfoca al estudio de la calidad del agua de fuentes superficiales, tratamiento de aguas residuales y producción de energía eléctrica a través de sistemas energéticos no convencionales. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2646-3401>.

Hayline Alejandra Bohórquez Garzón. Es Ingeniera Ambiental de la Fundación Universitaria de San Gil, egresada con distinción Cum Laude. Su experiencia está relacionada con análisis de calidad de agua y estudios ambientales en proyectos de ingeniería. Actualmente cursa estudios de postgrado en Evaluación Ambiental de Proyectos de la Universidad Manuela Beltrán. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7356-4013>.

Andrea Karina Barrera Rodríguez. Es Ingeniera Ambiental, egresada de la Fundación Universitaria de San Gil. Su experiencia está relacionada con estudios de calidad de agua en recursos hídricos. Actualmente cursa estudios de postgrado en Argentina. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5965-2714>

Sinia Sirley Salamanca Velandia. Es egresada del programa de Ingeniería Ambiental de la Fundación Universitaria de San Gil de la sede Yopal, egresada con distinción Cum Laude. Ha estado vinculada al sector público desde hace más de 3 años y actualmente cursa estudios de Maestría en Ingeniería Civil – Enfoque en Hidroambiental. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8732-6147>.

Daninson Ahmed Jiménez Medina. Es Ingeniero Ambiental, egresado también de la Fundación Universitaria de San Gil. Especialista en Evaluación y Gestión Ambiental de UNITRÓPICO con experiencia en el sector privado

como asesor de empresas del sector de la construcción. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9616-4891>.

Wilmar Alirio Botello-Suárez. Es Ingeniero de Producción Biotecnológica de la Universidad Francisco de Paula Santander (Colombia). Doctor en Microbiología Agropecuaria de la Universidad Estadual Paulista (Brasil). Su investigación está enfocada principalmente al estudio de sistemas de tratamiento biológico y aprovechamiento energético de efluentes agroindustriales. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1442-3066>.