

MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO “GACHANECA” EN BOYACÁ

AQUATIC MACROINVERTEBRATES AS WATER QUALITY BIOINDICATOR IN THE “GACHANECA” RIVER BASIN IN BOYACÁ

Yiseth Vanessa Orozco¹
Juan Pablo González²
Camilo Lesmes Fabián³
Sully Segura Peña⁴

1 Unidad de Postgrados. Universidad Santo Tomás. yiseth.orozco@Usantoto.edu.co

2 Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Santo Tomás. juan.gonzalezga@usantoto.edu.co

3 Facultad de Ingeniería Ambiental. Universidad Santo Tomás. camilo.lesmes@usantoto.edu.co

4 Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Santo Tomás. sully.segura01@usantoto.edu.co

RESUMEN

Durante los años 2019 y 2020 se realizó un estudio sobre la identificación de la biodiversidad de macroinvertebrados acuáticos y su papel como bioindicadores de calidad del agua en el territorio de Samacá, en donde se establecieron seis estaciones de monitoreo. Las variables físicas (temperatura y conductividad eléctrica) y químicas (pH, SDT, %OD) se evaluaron con un equipo multiparámetro. Las muestras biológicas se recolectaron con red de Surber en un área de 30x30 cm. Se encontraron en total 7.310 individuos, entre la época de verano e invierno, distribuidos en 23 órdenes y 42 familias: el Phylum más encontrado fue el Arthropoda, este puede indicar la calidad del ecosistema de la microcuenca del Río Gachaneca. La calidad biológica del agua se determinó con los índices BMWP/Col, ASPT y ABI, arrojando resultados de aguas de calidad crítica a muy crítica a lo largo de la microcuenca; esto debido a que los taxones de la comunidad de macroinvertebrados dominantes pertenecieron a la familia Chironomidae, los cuales expresan tolerancia a condiciones de anoxia y altos niveles de contaminación; además, se encontraron organismos de Physidae, Glossiphoniidae y Tipulidae, característicos de aguas mesotróficas y eutróficas, y familias como Dugesia y Naididae, característicos de contaminación por materia orgánica. Los resultados son relevantes para establecer estrategias que permitan un adecuado manejo sostenible del recurso hídrico en la Cuenca del Valle de Samacá; así como a la identificación del grado de contaminación

generado por las actividades antrópicas presentes, aportando al conocimiento de la biodiversidad de las poblaciones de macroinvertebrados en el cuerpo de agua.

Palabras claves: Agua, Calidad del agua, Índices bióticos, Macroinvertebrado acuáticos.

ABSTRACT

During the years 2019 and 2020, a study was carried out on the identification of the biodiversity of aquatic macroinvertebrates and their role as bioindicators of water quality in the territory of Samacá, where six monitoring stations were established. The physical variables (temperature and electrical conductivity) and chemical (ph, TDS, % DO) were evaluated with a multiparameter equipment. The biological samples were collected with a Surber net in an area of 30 x 30 cm. A total of 7,310 individuals were found, between summer and winter, distributed in 23 orders and 42 families; where the most found Phylum was the Arthropoda, which can indicate the quality of the ecosystem of the Gachaneca River micro-basin. The biological quality of the water was determined with the BMWP / Col, ASPT and ABI indices, yielding results of critical to very critical quality waters throughout the micro-basin; This is due to the fact that the taxa of the dominant macroinvertebrate community belonged to the Chironomidae Family, which express tolerance to anoxic conditions and high levels of contamination; Furthermore, organisms of Physidae, Glossiphoniidae and Tipulidae, characteristic of mesotrophic and eutrophic waters, and families such as Dugesia and

Naididae, characteristic of contamination by organic matter, were found. The results are relevant to establish strategies that allow adequate sustainable management of water resources in the Samacá Valley Basin; as well as the identification of the degree of contamination generated by the

anthropic activities present, contributing to the knowledge of the biodiversity of the macroinvertebrate populations in the body of water.

Keywords: Aquatic macroinvertebrate, Biotic indices, Water, Water quality.

INTRODUCCIÓN

El agua es vital para la existencia de todas las formas de vida, pero este preciado recurso está siendo progresivamente amenazado por el crecimiento de la población que demanda más agua de alta calidad, tanto para los fines domésticos, como para las actividades económicas (Al-Janabi et al. 2012; Gracia R. Jeniffer, 2019). Sin embargo, esta calidad se ve afectada por factores antrópicos o naturales, así como la interacción entre ellos (Pérez-Ortega, et al., 2016; Jauregui A, 2019). Usualmente, los valores de referencia que reflejan la calidad del agua deben ser establecidos, preferentemente, a través del monitoreo de los parámetros físicos, químicos y biológicos (Haddad, 2007). Existen características inherentes de una determinada cuenca hidrográfica que puede contribuir o potenciar la degradación ambiental en sus recursos hídricos. De ahí surge la importancia de determinar, mediante índices e indicadores, el modo en que los cambios en el uso de la tierra, acompañados de las actividades antrópicas, ejercen presión ambiental en estos recursos (Pérez-Ortega, et al., 2016; Silva, 2008). Para determinar los indicadores de calidad, se debe realizar un diagnóstico y caracterización ambiental del área en estudio, así como el análisis de las actividades socio - económicas, que permitan identificar qué tipo de agentes externos pueden llegar a afectar el recurso hídrico.

Los índices de calidad de las aguas se pueden usar a nivel de datos físico-químicos (ICA) o a través de índices biológicos (BMWP, ABI, ASPT, etc.), los cuales

hacen uso de datos hidrobiológicos, por lo que son considerados bioindicadores. La evaluación de la calidad del agua puede ser comprendida, como la estimación de su naturaleza química, física y biológica proporcional a la calidad natural, las actividades antrópicas y usos posibles (Hernández, 2009). Los indicadores biológicos están formados por macroinvertebrados acuáticos constituidos principalmente por larvas y ninfas de insectos de los órdenes ephemeroptera, plecóptera, trichoptera, coleóptera y díptera, entre otros (Zúñiga, 2013), lo que quiere decir que en los ecosistemas acuáticos es donde inicia el desarrollo de su ciclo de vida, pasando por el estado pupal, finalmente, al estado adulto, por lo que su presencia tiene una alta importancia en evaluaciones ambientales (Lievano, 2007).

Los macroinvertebrados acuáticos han sido ampliamente citados como bioindicadores para la evaluación de la calidad acuática en las últimas décadas (Patiño, 2015). Estos son un grupo variado de organismos que no tienen espina dorsal y que son fáciles de ver sin la necesidad de un microscopio, además de ser una fuente de energía para los animales más grandes (Carrera y Fierro, 2001). Estos son utilizados para el monitoreo biológico por su sensibilidad a cambios externos que afectan la composición de sus poblaciones (Roldán, 2003). Las comunidades acuáticas brindan más información sobre la contaminación o la calidad general del afluente hídrico, a través de un periodo más largo de tiempo, a diferencia de un análisis químico, el cual es puntual en un momento determinado del muestreo de acuerdo con la Water

Resources Commissioner (WRC, 1996). Los macroinvertebrados son sensibles a distintas condiciones físicas y químicas, por lo que un cambio en la calidad del agua podría cambiar también la estructura y composición de las comunidades acuáticas (Chapman, 1996; Segnini, S y Chacón, M, 2005).

Los índices más ampliamente usados para sistemas lóticos (ríos y riachuelos) y lénticos (lagos, lagunas) son el índice BMWP/Col (Biological Monitoring Water Party/Colombia) (Roldán, 2003) y el índice EPT (ephemeróptera, plecópetera y trichoptera) (Carrera y Fierro, 2001), los cuales son útiles en el análisis de la calidad del agua, debido a que necesitan bajo nivel taxonómico (familia), bajo costo en términos de tiempo (identificación de insectos) y dinero, convirtiéndose en metodologías rápidas y útiles para ser empleadas en la fiscalización por parte de algún organismo público que requiera en poco tiempo, y de una forma acertada, evaluar la calidad del agua de una cuenca hidrográfica determinada (Roldán, 2003).

Como estrategia de investigación con el proyecto, se pretende involucrar en la evaluación de la calidad del agua a los bio - indicadores (macro invertebrados acuáticos), con el fin de disminuir costos en los análisis físico - químicos y microbiológicos del agua, también, realizar mayor monitoreo en los puntos críticos de contaminación en la cuenca por parte de las comunidades. Este proyecto

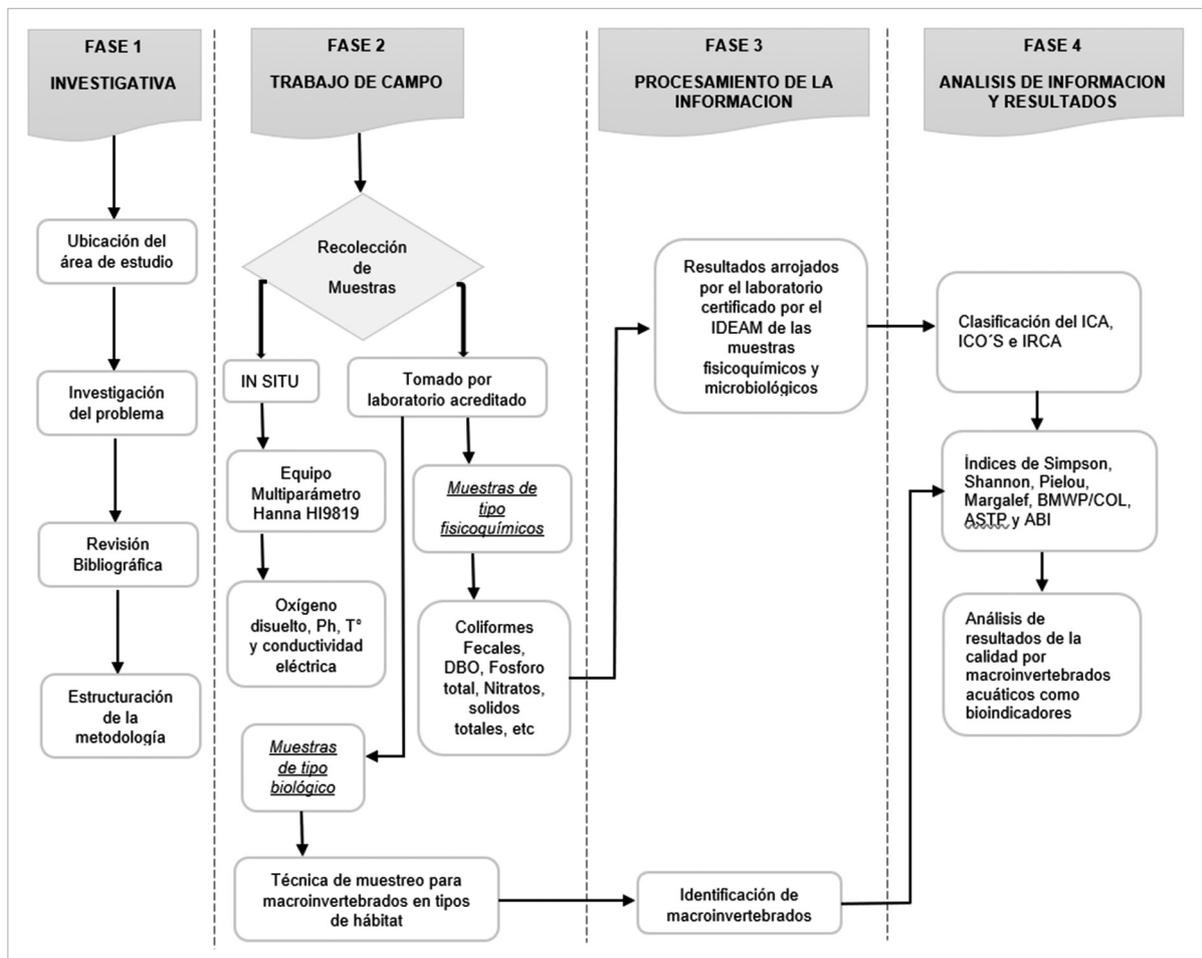
busca evaluar la calidad del agua de forma integral haciendo una inclusión de macroinvertebrados acuáticos con los índices ICA, ICO'S y BMWP/COL.

Las comunidades del área de influencia de la Cuenca del río Gachaneca deben apropiarse de sus problemáticas ambientales, siendo una de estas, el deterioro de la calidad del agua de una cuenca hidrográfica por actividades antrópicas. No existe una evaluación de la presencia de contaminantes en el afluente basada en bioindicadores, por lo que este proyecto busca la identificación de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de manera que funcione como una alternativa para la evaluación ambiental de las fuentes hídricas y se puedan establecer estrategias para evitar su contaminación.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se enfocó en un estudio de tipo explicativo secuencial, en donde se obtienen y analizan datos cuantitativos en este caso los parámetros físico -químicos, hidrobiológicos y biológicos; de igual forma, se recogen y evalúan datos cualitativos del inventario de macroinvertebrados acuáticos que habitan en el cauce del Río Gachaneca. Con el fin de evaluar la calidad del agua, de forma integral, se desarrolló una metodología en cuatro fases como se puede evidenciar a continuación.

Figura 1. Metodología aplicada. Se evidencia las cuatro fases que se implementarán para el desarrollo del estudio investigativo.



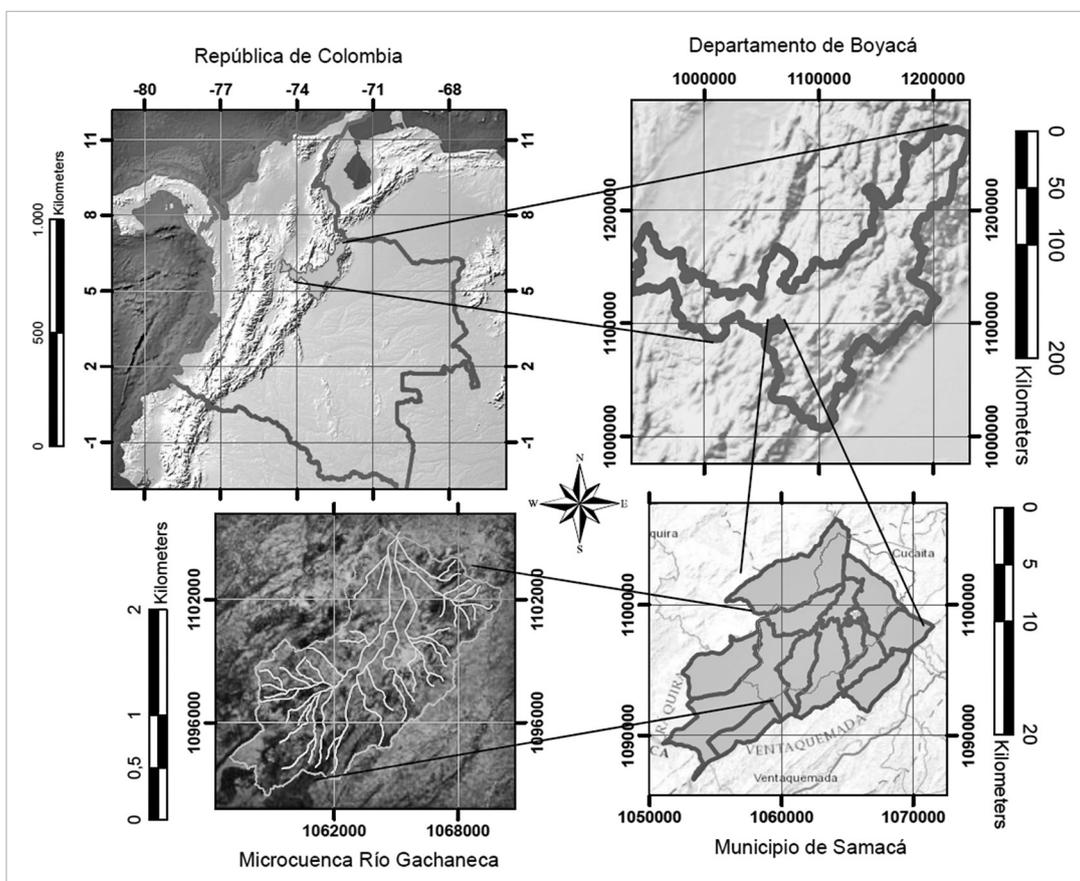
Fuente: Autor.

Área de Estudio

El área de influencia indirecta del proyecto se ubica en los municipios de Samacá y Cucaita, los cuales se encuentran ubicados en la provincia Centro del departamento de Boyacá. Samacá está situado a 30 km de la ciudad de Tunja. El área directa de estudio para desarrollar la evaluación de

la calidad del agua, está ubicada en la microcuenca del Río Gachaneca, donde se pueden encontrar diferentes actividades antrópicas, típicas de la región como son la agricultura, la ganadería, la minería y la industria.

Figura 2. Ubicación del área de estudio. Se evidencia la localización de la microcuenca del Río Gachaneca.



Fuente: Autor.

Ubicación de los Puntos de Muestreo

Para realizar el monitoreo de la microcuenca del Río Gachaneca, se escogieron seis puntos de muestreo, los cuales se pueden apreciar en la tabla 1 y la figura 2. Estos fueron seleccionados de acuerdo con las condiciones del terreno y las principales alteraciones que presenta el afluente, como vertimientos, canalización o cambios físicos visuales en el cuerpo de agua. Así mismo, los puntos de muestreo

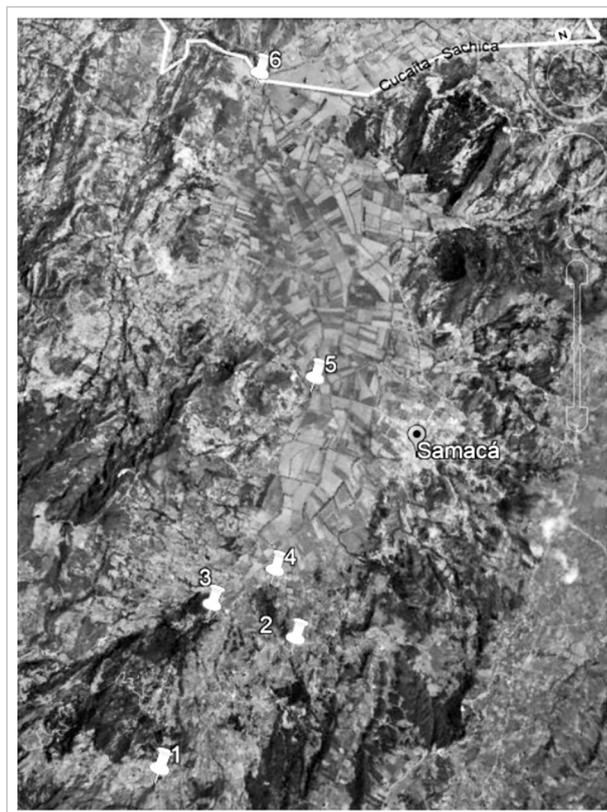
se eligieron tanto aguas arriba, como aguas abajo del Municipio de Samacá, con el fin de determinar si existe un impacto de las aguas residuales provenientes de actividades domésticas, mineras, industriales o agrícolas. Las locaciones de muestreo aguas arriba, más cercanas a la mina, se eligieron para determinar si había un impacto por parte de las actividades mineras. Algunos puntos intermedios se eligieron para mostrar el impacto de la agricultura y el uso de canales de riego.

Tabla 1. Ubicación de las 6 estaciones de monitoreo en la microcuenca Gachaneca.

| Punto | Estación de muestreo | Ubicación geográfica | | Descripción del uso del suelo |
|-------|---|----------------------|--------------|--|
| | | Norte | Este | |
| P1 | Río Gachaneca | 5°27'36.24" | 73°32'5.91" | Tierras Eriales y Bosque nativo (Aguas Abajo Represa). |
| P2 | Salida Empresa Acerías Paz del Río | 5°28'11.87" | 73°30'45.11" | Uso Minero. |
| P3 | La Carpintería (Unión de Aguas de minas). | 5°28'40.8" | 73°31'19.8" | Uso Minero |
| P4 | Empresa GFC | 5°28'47.03" | 73°30'44.10" | Uso Minero. |
| P5 | Intersección salida Samacá (Puente) | 5°30'13.1" | 73°29'53.2" | Uso Agrícola (Unión de vertimientos mineros y agrícolas aguas arriba). |
| P6 | Intersección vía principal | 5°32'49.0" | 73°29'29.5" | Uso Agrícola y Ganadero (Unión de todos los cauces incluyendo aguas residuales). |

Fuente: Autor.

Figura 3. Ubicación espacial de las estaciones de muestreo.



Fuente: Autor.

El primer punto de muestreo corresponde a la parte alta del Río Gachaneca (Figura 4) donde se encuentra la represa en medio de un ecosistema que no presenta graves alteraciones por actividades antropogénicas. Durante las visitas de campo, se encontró que es una zona que tiene buena vegetación y el agua es incolora. El segundo punto se encuentra sobre la Quebrada Tintoque, la cual está ubicada entre los límites de la Vereda Pataguay y Salamanca. Es evidente que estas aguas llevan alta carga de sedimentos y presentan fuertes olores desagradables. El tercer punto se encuentra en la unión de la red de drenajes de las quebradas Tres Chorros y Quebrada Grande. Estas aguas acumulan los vertimientos que generan las industrias mineras. Los puntos cuatro y cinco se caracterizan por captar aguas agrícolas y ganaderas y por la deposición de basuras. Finalmente, el punto seis, como se puede ver en la figura 2, es la unión de todos los cauces, por ende, recibe las aguas residuales de todas las actividades antrópicas, incluyendo la unión de aguas residuales del Municipio de Samacá.

Recolección de Muestras

La metodología empleada para la recolección de muestras se basó en el protocolo nacional de monitoreo de calidad de cuerpos de agua superficiales del IDEAM. En cada punto de muestreo se realizaron dos tipos de monitoreo, uno *in situ* y otro realizado por un laboratorio certificado. Se realizaron dos campañas de toma de muestras para la temporada de verano e invierno, durante los años 2019 y 2020.

La recolección de los macroinvertebrados se llevó a cabo mediante el empleo de diferentes técnicas de recolección manual, la cual se realiza en diversos sustratos como rocas, arena, vegetación ribereña, troncos y hojarasca, aplicando las recomendaciones y metodología citada por Roldán (2003). Se realizó un muestreo cuantitativo, delimitado por el tipo de sustrato, utilizando una red Surber de 30x30 cm de área. Luego de remover el cuadrante por un minuto, con cinco réplicas, se tomó una muestra integrada, la cual fue depositada en una bolsa resellable con capacidad de 500 ml, las cuales fueron preservadas con solución de alcohol al 70%, posteriormente, fueron rotuladas, identificando el sitio de muestreo, comunidad, fecha y aplicando un preservante. Así mismo, se realizaron dos campañas de muestreo entre los meses de septiembre y octubre de 2020.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con las especies de macroinvertebrados encontradas, se realizó un análisis ecológico de las familias y género, en cuanto a preferencias de hábitat y rangos de tolerancia. Esto con el fin de entender la distribución y abundancia de estas especies en los sitios de muestreo. Se analizaron los índices de diversidad (índices de Shannon, Pielou y Margalef) y los índices biológicos (BMWP/COL y ABI).

La necesidad y utilidad de un análisis de correlación tiene especial importancia dentro del estudio, puesto que es una forma muy clara de analizar los datos y su interacción entre ellos, ya sea directa o inversa, además de tener un valor de significancia que determina la intensidad de la relación entre ciertos parámetros,

los cuales de este modo pueden ser expresados, analizados y descritos de manera rápida y sencilla. Además de la correlación entre parámetros, también se consideró interesante el uso de valores altitudinales y espaciales, pues estos dan una mejor visión de la distribución de las diferentes calidades de agua y la variedad de actividades generalizadas en la cuenca según las zonas.

RESULTADOS

Parámetros Físico-químicos

Los valores de los parámetros físico - químicos para el Río Gachaneca se muestran en la Tabla 2 (época de verano) y Tabla 3 (época de invierno). Los coliformes totales registran valores entre 930 a 2223 UFC/100 cm³ para la época de verano, así mismo, se presentó un valor máximo de 240000 UFC/100 cm³ en la estación P6 (intersección vía principal) y una mínima de 142 UFC/100 cm³ en época de lluvia. Así mismo, para *Escherichia coli* se presentaron datos elevados para la época de verano en la misma estación de los coliformes totales con un valor de 130000 UFC/100 cm³ y valores de 0 UFC/100 cm³ y 15 UFC/100 cm³ en las estaciones P5 (intersección salida Samacá) y P1 (Río Gachaneca), respectivamente. Respecto a la conductividad y los sólidos disueltos, éstos presentaron valores similares para las dos épocas climatológicas, excepto en la estación P3 (La Carpintería) con un valor de 3540 µS/cm para la conductividad y de 3198 mg/L para los SDT. Este punto corresponde a la zona media de la cuenca del Río Gachaneca.

De igual forma, se observa que los valores de oxígeno disuelto presentaron

oscilaciones, debido a que para la época de verano se registraron valores entre 32.4 a 68.3% y para la época de invierno de 67.2 a 114.1%, siendo la estación P5 (intersección salida Samacá) el punto donde hubo una similitud entre los datos para las dos épocas climatológicas. En cuanto al pH, para la época de invierno en la estación P1 (Río Gachaneca), que corresponde a la parte más alta de la cuenca, se registró un valor de 7.04. Al pasar por la estación P3 (La Carpintería) se registró un valor de 2.9. En la estación P4 (Empresa GFC) se registró un valor de 6.72. Finalmente, en la estación P6 (intersección vía principal) se registró un valor de 5.57. Esta estación corresponde a la zona más baja de la cuenca, siendo el punto que recoge todas las aguas de las diferentes estaciones. En la época de verano, los valores de pH registran en la parte más alta de la cuenca P1 (Río Gachaneca) un valor de 4.6, seguidamente, de la estación P3 (La Carpintería) un valor de 5.15, finalmente, la estación P6 (intersección vía principal) un valor de 7.01.

Los resultados de los parámetros físico - químicos evidencian diferentes grados de variación, aunque cabe resaltar la tendencia del mejoramiento de las condiciones de calidad del agua en la época de verano en el caso de la conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, sólidos disueltos, DQO total y temperatura. en el análisis entre periodos hidroclimáticos, se puede observar que en el periodo de invierno en el punto de monitoreo P3 (La Carpintería), se aprecia un aumento considerable en la conductividad, turbiedad y sólidos disueltos, así como una disminución en el pH con respecto a los demás puntos monitoreados. De igual forma, se evidencia en la temporada de

invierno un aumento considerable tanto en los coliformes totales y *Escherichia Coli* en la estación de monitoreo de P6 (intersección vía principal). En cuanto a los coliformes totales en la temporada de

verano se registraron datos más elevados con respecto a la temporada de invierno, en casi todos los puntos monitoreados, exceptuando la estación P6 (intersección vía principal).

Tabla 2. Parámetros de calidad del agua monitoreados para el periodo de verano e invierno.

| TEMPORADA DE VERANO | | | | | | | |
|---------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|---|------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| DESCRIPCIÓN | EXPRESIÓN | VALOR OBTENIDO | | | | | |
| | | P6 "Intersección Via Principal" | P5 "Intersección Salida Samaca (Puente)" | P4 "Empresa GFC" | P3 "La Carpintería" | P2 "Salida Empresa Acerías" | P1 "Río Gachaneca" |
| ANÁLISIS DE CAMPO | | | | | | | |
| Conductividad (A) | microsiemens/cm | 619 | 36 | 302 | 22 | 466 | 7 |
| pH (A) | Unidades de pH | 7,01 | 6,02 | 6,72 | 5,15 | 6,25 | 4,6 |
| Temperatura | °C | 19 | 15,18 | 17,25 | 16 | 15,9 | 15,87 |
| Oxígeno Disuelto | % | 51,5 | 67,2 | 32,4 | 59,7 | 58,5 | 68,3 |
| Turbiedad | UNT | 115 | 127 | 106 | 85,2 | 18,6 | 2,8 |
| Sólido Disuelto | µS/cm | 282 | 72 | 121 | 7 | 226 | 1 |
| ANÁLISIS DE LABORATORIO | | | | | | | |
| DQO Total (A) | mg O ₂ /L | 33 | <14,98 | 27 | <14,98 | <14,98 | <14,98 |
| DBO ₅ Total (A) | mg O ₂ /L | 4 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 |
| Dureza Total (A) | mg CaCO ₃ /L | 185 | 13 | 103 | 8,0 | 155,0 | 3,0 |
| Sólidos suspendidos totales (A) | mg SST/L | 26 | <11,51 | 16 | 14 | 17 | <11,51 |
| Coliformes totales | UFC/100 cm ³ | 2223 | 1320 | 2100 | 1182 | 1110 | 930 |
| E. Coli | UFC/100 cm ³ | 560 | 880 | 520 | 120 | 300 | 100 |
| TEMPORADA DE INVIERNO | | | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | EXPRESIÓN | VALOR OBTENIDO | | | | | |
| | | P6 "Intersección Via Principal" | P5 "Intersección Salida Samaca (Puente)" | P4 "Empresa GFC" | P3 "La Carpintería" | P2 "Salida Empresa Acerías" | P1 "Río Gachaneca" |
| ANÁLISIS DE CAMPO | | | | | | | |
| Conductividad (A) | microsiemens/cm | 962 | 311 | 321 | 3540 | 292 | 16 |
| pH (A) | Unidades de pH | 5,57 | 6,01 | 6,77 | 2,9 | 6,86 | 7,04 |
| Temperatura | °C | 18,8 | 18,4 | 18,2 | 18,5 | 14,8 | 14,8 |
| Oxígeno Disuelto | % | 109,3 | 56,5 | 103,5 | 86,4 | 106,5 | 114,1 |
| Turbiedad | UNT | 24,9 | 180 | 17,1 | 198 | 24,3 | 4,4 |
| Sólido Disuelto | mg SDT/L | 660 | 181 | 180 | 3198 | 166 | 14 |
| ANÁLISIS DE LABORATORIO | | | | | | | |
| DQO Total (A) | mg O ₂ /L | 37 | <14,98 | 51 | <14,98 | <14,98 | <14,98 |
| DBO ₅ Total (A) | mg O ₂ /L | 11 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 |
| Dureza Total (A) | mg CaCO ₃ /L | 81 | 91,77 | 147 | 42 | 48 | 13 |
| Sólidos suspendidos totales | mg SST/L | 90 | <11,51 | <11,51 | 46 | <11,51 | <11,51 |
| Coliformes totales | UFC/100 cm ³ | 240000 | 890 | 860 | 68 | 740 | 142 |
| E. Coli | UFC/100 cm ³ | 130000 | - | 420 | 1100 | 201 | 15 |

Fuente: Autor.

Macroinvertebrados

En la cuenca del Río Gachaneca, se determinaron para la temporada seca 3 Phylum, 7 clases, 9 órdenes, 16 familias y 12 géneros y para la temporada de lluvia 4 Phylum, 8 clases, 14 órdenes, 26

familias y 14 géneros, donde el Phylum más encontrado fue el arthropoda, este es el más numeroso y diverso del reino animal, por ende, es importante para el análisis de la calidad del agua de la zona. Este Phylum en particular, puede indicar como se encuentra el ecosistema de la

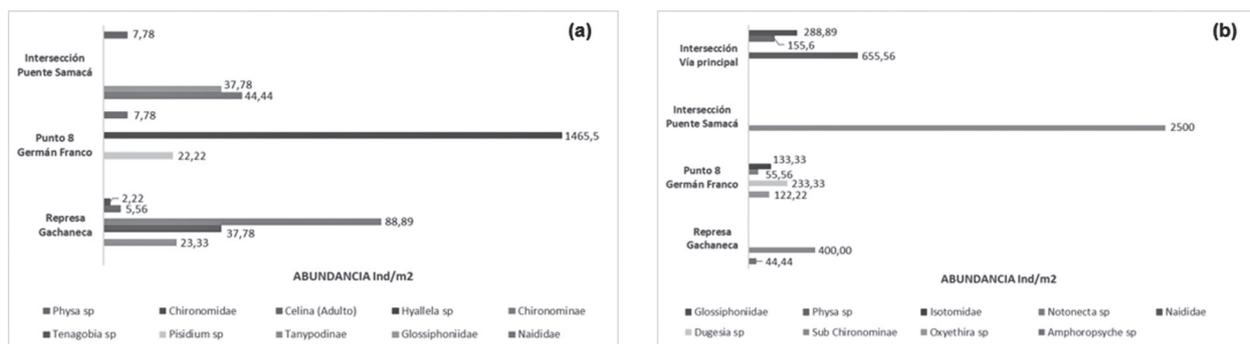
microcuenca del Río Gachaneca. Así mismo, se evidencia que la clase más predominante es la insecta, la cual es muy frecuente encontrarlo en los ecosistemas de quebradas.

El Mayor número de especie encontradas, expresado en porcentaje para la época de verano fue hyallela (82%) en el punto de monitoreo de la empresa de German Franco GFC, Sub. chironominae (6%) en el punto de monitoreo del Río Gachaneca y naididae (3%) en el punto de monitoreo de intersección puente de Samacá (figura 3a). Las especies encontradas para la época de invierno fueron Sub. Chironominae (63%) en el punto de monitoreo intersección puente de Samacá,

naididae (14%) en el punto de monitoreo intersección vía principal y glossiphoniidae (6%) en el punto de monitoreo intersección vía principal (figura 3b).

En los sitios evaluados, el orden que presentó la mayor riqueza de morfoespecies fue diptera, debido a su distribución cosmopolita, se logró encontrar en zonas con calidad del agua buena hasta sitios donde se evidencia diferentes niveles de perturbación. Para la temporada de invierno, la familia de los chironominae fue uno de los taxones más abundantes; estos taxones expresan condiciones tolerantes a la anoxia, generalmente, se distribuyen en zonas donde muestran altas cantidades de materia orgánica.

Figura 3. Distribución y abundancia relativa (Ind/m²) de los diez taxones de macroinvertebrados bentónicos más abundantes y sus sitios de monitoreo para la época de verano (a), para la época de invierno (b).



Fuente: Autor.

Índices biológicos de calidad del agua

Teniendo en cuenta los valores obtenidos de las familias de macroinvertebrados encontrados en la cuenca del Río Gachaneca, se determinó la calidad del agua mediante la utilización de BMWP/COL, ABI y ASPT, para las dos temporadas hidrológicas. Los resultados obtenidos y la calidad del agua se presentan en la Tabla 3.

De acuerdo con el índice BMWP/COL, los valores que se obtuvieron en promedio para la época de verano fueron en un rango de 14-28, en donde el valor más alto fue para la estación P1 (R. Gachaneca) y la estación más crítica fue P4 (E. GFC). Para la época de invierno, los valores estaban dentro de un rango de 3-43, en donde el valor de calidad dudosa (43), fue para el punto de monitoreo P4 (E. GFC). El P1 (R. Gachaneca) mantuvo su calidad

crítica con el mismo valor cuantitativo de 28 y las más crítica fue en la estación de monitoreo P2 (S.E. Acerías) con un valor cuantitativo de 3,2. También se puede evidenciar que la calidad del agua según el índice BMWP/COL arrojó datos más favorables para la época de verano que para la época de invierno, ya que en la época de verano solo se obtuvo una calificación cualitativa de muy crítica P4 (E. GFC) y en la época de invierno se obtuvieron tres calificaciones cualitativas de muy crítica en las estaciones P2 (S.E. Acerías), P3 (Carpintería) y P5 (Inter. Puente). Cabe resaltar que las estaciones P2 (S.E. Acerías) y P3 (Carpintería), tanto para la época de verano e invierno, fueron los puntos con menos abundancia de organismos. Esto pudo deberse posiblemente a la ausencia de parches de macrófitas que afecta significativamente la diversidad de organismos.

Según el índice ASPT, se evidenció un cambio en los resultados para la época de verano debido a que tres estaciones

de monitoreo arrojaron valores con rangos desde 4.7-5.2 con calificación dudosa en las estaciones P2 (S.E. Acerías), P4 (E. GFC) y P6 (Inter. Vía). Para la época de invierno, la estación de monitoreo P3 (Carpintería) obtuvo cuantitativamente 7.5 para una calificación aceptable. Adicionalmente, tres estaciones arrojaron una calificación cualitativa de muy crítica como son P2 (S.E. Acerías), P5 (Inter. Puente) y P6 (Inter. Vía).

Los resultados del índice ABI fueron muy similares a los del índice BMWP/COL, los cuales, para la época de verano, en las estaciones de monitoreo P4 (E. GFC) y P6 (Inter. Vía) sus valores cualitativos fueron muy crítico y para las otras tres estaciones sus valores cualitativos fueron crítico. Para la época de invierno, las estaciones de monitoreo P2 (S.E. Acerías), P3 (Carpintería) y P5 (Inter. Puente) los valores cualitativos fueron muy crítico, mientras para las otras dos estaciones sus valores cualitativos fueron crítico.

Tabla 3. Resultados obtenidos de los índices biológicos (ABI, BMWP/COL y ASPT).

| PUNTOS | ESTACIÓN DE MONITOREO | ABI | | BMWP/COL | | ASPT | |
|--------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | VERANO | INVIERNO | VERANO | INVIERNO | VERANO | INVIERNO |
| P1 | R. Gachaneca | 19 | 29 | 28 | 28 | 4,0 | 4,0 |
| | | Crítica | Crítica | Crítica | Crítica | Crítica | Crítica |
| P2 | S.E Acerias | 16 | 5 | 20 | 3 | 5,0 | 3,0 |
| | | Crítica | Muy Crítica | Crítica | Muy Crítica | Dudosa | Muy Crítica |
| P3 | Carpinteria | 26 | 13 | 24 | 15 | 4,0 | 7,5 |
| | | Crítica | Muy Crítica | Crítica | Muy Crítica | Crítica | Aceptable |
| P4 | E. GFG | 12 | 34 | 14 | 43 | 4,7 | 4,8 |
| | | Muy Crítica | Crítica | Muy Crítica | Dudosa | Dudosa | Dudosa |
| P5 | Inter. Puente | 17 | 8 | 18 | 9 | 3,0 | 2,3 |
| | | Crítica | Muy Crítica | Crítica | Muy Crítica | Muy Crítica | Muy Crítica |
| P6 | Inter. Via | 15 | 26 | 26 | 27 | 5,2 | 3,4 |
| | | Muy Crítica | Crítica | Crítica | Crítica | Dudosa | Muy Crítica |

Fuente: Autor.

Índices de biodiversidad

Los resultados de los índices de diversidad de Margalef (DMg), Shannon - Wiener (H) y de equidad de Pielou (E), calculados para cada uno de los sitios de monitoreo para la época de verano, evidenciaron que las estaciones P2 (S.E. Acerías) y P4 (E. Germán Franco), obtuvieron los valores más bajos del promedio para el índice de H (0.84 y 0.11) y E (0.30 y 0.04). Para el caso del índice de DMg, las estaciones P3 (Carpintería) y P6 (Inter. Vía) presentaron valores por encima al promedio DMg (2.40 y 1.29). Esto indica que las estaciones

P2 y P4 presentan una baja diversidad con respecto a las demás estaciones, así como las estaciones P3 y P6 presentaron de media a baja diversidad. Para la época de invierno, los resultados de las diferentes estaciones mostraron que P2 (S.E. Acerías) y P5 (Intersección Puente) obtuvieron los valores más bajos del promedio para cada índice H (0 y 0.22), DMg (0 y 0.51) y E (0 y 0.07). Lo anterior se debe a la alta intervención antrópica que se presenta en la cuenca del Río Gachaneca, lo que afecta a la comunidad de macroinvertebrados bentónicos (Tabla 4).

Tabla 4. *Índices de diversidad para las estaciones de monitoreo para época de verano e invierno.*

| TEMPORADA DE VERANO | | | | | | |
|-----------------------|--------------|-------------|-------------|--------|---------------|------------|
| INDICES | R. Gachaneca | S.E Acerias | Carpinteria | E. GFG | Inter. Puente | Inter. Via |
| Taxa (S) | 7 | 4 | 6 | 3 | 6 | 5 |
| Shannon (H) | 1,253 | 0,8366 | 1,667 | 0,1098 | 1,416 | 1,297 |
| Margalef (DMg) | 1,182 | 1,17 | 2,404 | 0,2736 | 1,058 | 1,294 |
| Pielou (E) | 0,45 | 0,30 | 0,60 | 0,04 | 0,51 | 0,47 |
| TEMPORADA DE INVIERNO | | | | | | |
| INDICES | R. Gachaneca | S.E Acerias | Carpinteria | E. GFG | Inter. Puente | Inter. Via |
| Taxa (S) | 9 | 1 | 4 | 12 | 5 | 9 |
| Shannon (H) | 1,46 | 0 | 1,386 | 2,131 | 0,2157 | 1,257 |
| Margalef (DMg) | 1,228 | 0 | 0,7928 | 1,601 | 0,5087 | 1,13 |
| Pielou (E) | 0,45 | 0,00 | 0,43 | 0,65 | 0,07 | 0,39 |

Fuente: Autor.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El recurso hídrico superficial guarda relación con las actividades antrópicas que se adelantan en el Municipio de Samacá por donde transcurren y localizan los ríos y quebradas pertenecientes a la cuenca del Río Gachaneca. La calidad de los cuerpos de agua se ve afectada por descargas de

aguas residuales, situación que repercute en la disponibilidad del agua para usos diferentes al que históricamente se ha dado. Se concluye que la calidad del agua de la microcuenca del Río Gachaneca pasaba de ser buena a moderada en época de verano y de moderada a muy mala en época de invierno, mostrando así características propias tanto a nivel biológico como físico - químico. Teniendo en cuenta que los índices BMWP/COL, ABI

y ASPT, evidencian que en la microcuenca se presentan aguas contaminadas críticas a muy críticas en las seis estaciones, estos índices pueden estar relacionados con las características geomorfológicas, el sustrato y las actividades antropogénicas, tales como, la agricultura, el vertimiento de afluentes y la presencia de residuos sólidos.

Las diferentes comunidades de macroinvertebrados presentes en la cuenca están correlacionados con diferentes parámetros físico - químicos. Es el caso del OD, el cual presentó para la época de verano en la estación P4 (Empresa GFC) 32.4 % de OD y 1495.6 Ind/m² y para P1 (R. Gachaneca) 68.3% de OD y 163.33 Ind/m². Para la época de invierno, se evidenció en la estación P5 (Intersección Puente) 56.5% OD y 2600 Ind/m² y para P1 (R. Gachaneca) 114.1% de OD y 677.76 Ind/m². El OD es un parámetro fundamental, ya que su concentración determina las especies que, de acuerdo con su tolerancia y rango de adaptación, pueden sobrevivir en un determinado cuerpo de agua (Sierra, 2011).

Teniendo en cuenta lo anterior, se analizó que entre menor es el %OD en el afluente, mayor es la abundancia de la especie de macroinvertebrados en la estación monitoreada. Sin embargo, algunas poblaciones son más tolerantes que otras a dicho cambio (Naranjo López y López del Castillo, 2013). En la estación P4 (Empresa GFC) se presenta la familia de la Hyallela con una mayor abundancia (1465.6 Ind/m²) y en el sitio P5 (Intersección Puente) se presentó la familia de los Chironominae con mayor abundancia con 2500 Ind/m².

Otro caso similar se presentó en el Municipio de Villapinzón donde las concentraciones de oxígeno disuelto son altas (8,50 mg/l) favoreciendo la abundancia de las familias como Simuliidae y Leptoceridae (Domínguez y Fernández, 2009) características de aguas limpias (Roldán, 2003), como se presenta en la estación P1 (R. Gachaneca) 114.1% de OD - 677.76 Ind/m², de los cuales corresponde el 44.44 Ind/m² de la familia de Leptoceridae.

En cuanto a los resultados de pH, se evidenció que entre más ácido el ambiente, algunas familias de macroinvertebrados tienden a desaparecer, como es el caso del orden Diptera, que en la estación P3 (Carpintería) para la época de verano presentó un pH de 5.15 y 7.77 Ind/m² y para la época de invierno presentó pH de 2.9 y 0 Ind/m². De acuerdo con Galindo Pérez et al., (2017), al disminuir el pH, se ven amenazadas las familias de caracoles, bivalvos, almejas, dáfnidos, efemerópteros y dípteros.

En el transcurso de los afluentes de la cuenca del Río Gachaneca para la época de verano se presentaron las familias más abundantes como son Hyallela con 1465.6 Ind/m² y Chironominae 88.89 Ind/m², para una abundancia total para esta época de 1821.1 Ind/m²; muy por el contrario, para la época de invierno donde se presentaron familias como los Chironominae 2500 Ind/m², Tubificidae 655.56 Ind/m², Glossophoniidae 288.89 Ind/m² y Dygesia 233.33 Ind/m², para una abundancia total de 5488.9 Ind/m². Según lo anterior diferimos de los estudios de Jacobsen y Encalada; (1998) y González et al., (2013) quienes consideran que el número de organismos es más alto en época seca que en la época lluviosa.

Del orden Diptera, el organismo más abundante, fue el perteneciente a la familia de los Chironomidae en todas las estaciones de monitoreo. Esta familia para la época de verano presentó 154.44 Ind/m² y para la época de invierno 3033.3 Ind/m². La importancia de esta identificación radica en que dicha familia puede relacionarse con la capacidad que tienen estos organismos para sobrevivir en diferentes tipos de hábitats y tolerar ambientes enriquecidos de carga orgánica residual. Además, tienen algunas ventajas sobre otros macroinvertebrados, como la tolerancia a la presencia de materia orgánica y la alta disponibilidad de alimento (González et al., 2012). Lo anterior concuerda con lo arrojado por los índices de bioindicación BMWP/COL, ABI y ASPT, los cuales indicaron que en la cuenca se presentan aguas contaminadas críticas a muy críticas en las seis estaciones.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la comunidad de Samacá, al Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, Tecnología e Innovación Francisco José de Caldas, al Ministerio de Ciencias, Programa Colombia Bio y la Gobernación de Boyacá por financiar la presente investigación en el marco del proyecto “Plataforma Comunitaria para el Monitoreo de la Calidad de Agua en la región de Samacá” convocatoria 794.

GLOSARIO

Bioindicación: es una técnica de evaluación ambiental que, a lo largo de los años, se ha venido consolidando como método para la detección y control

de la toxicidad en un determinado ecosistema. Los indicadores biológicos están formados por macroinvertebrados acuáticos constituidos principalmente por larvas y ninfas de insectos de los órdenes ephemeroptera, plecóptera, trichoptera, coleóptera y díptera, entre otros (Zúñiga, 2013).

Calidad del Agua: es cualquier límite fijado de variación o alteración del estado del agua, evaluado expertamente, con base en datos científicos, para el cual no hay ningún tipo de efectos, habitualmente desfavorables, en su uso por el hombre o para los organismos que lo habiten (Warren, 1971 y citado en Tejero, et al., 2001).

Índice Average Score per Taxon (ASTP): es un índice muy empleado para la evaluación de la calidad del agua de diferentes cuerpos hídricos. Los puntajes que van del 0 al 10, por lo cual un valor bajo de ASPT está en relación con un puntaje bajo de BMWP, lo que indica condiciones graves de contaminación en la zona de estudio, pero si resulta un valor alto, indicará condiciones de aguas muy limpias y poco intervenidas (Álvarez, 2005).

Índice biológico BMWP/Col: es un método sencillo y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macroinvertebrados como bioindicadores. Este método sólo requiere llegar hasta nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia o ausencia). El BMWP/Col es una modificación del BMWP, aplicando un puntaje de 1 a 10 a las diferentes familias de macroinvertebrados comunes en Colombia y para las clases de calidad de agua normalmente encontradas (Roldán, 2003).

Índice ephemeroptera, plecoptera y trichoptera (EPT): se refiere a la presencia o ausencia de los órdenes ephemeroptera, plecoptera y trichoptera en una comunidad biológica. en general, las especies de estos grupos de insectos son sensibles a las perturbaciones humanas, de aquí su uso como indicadores en el cálculo del índice (Alonso y Camargo, 2005).

Macroinvertebrados acuáticos: son un grupo variado de organismos que no tienen espina dorsal y que son fáciles de ver sin la necesidad de un microscopio, además de ser una fuente de energía para los animales más grandes (carrera y fierro, 2001). Estos son utilizados para monitoreo

biológico por su sensibilidad a cambios externos que afectan la composición de sus poblaciones (Roldán, 2003).

Parámetros de calidad del agua: ayudan a conocer con precisión variables físicas, químicas y biológicas de un cuerpo acuático y a su vez el grado de contaminantes en detalle, generalmente un análisis de aguas por métodos físico - químicos proporciona una información puntual y transitoria (Neumann, 2003). Los parámetros de calidad del agua están clasificados en físicos, químicos y microbiológicos (Bartram y Balance, 1996).

REFERENCIAS

Al-Janabi Z. Z., Al-Kubaisi A. R. and Al-Obaid A. H. M. J. (2012). Assessment of water quality of Tigris River by using water quality index (CCME WQI). *Journal of Al-Nahrain University*, vol. 15, no. 1, pp. 119-126, ISSN:18145922, IRAQI Academic Scientific Journals. Al-Jadriya, Baghdad, Irak.

Alonso A y Camargo J, A. (2005). Evaluating the effectiveness of five mineral artificial substrates for the sampling of benthic macroinvertebrates. Recuperado de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02705060.2005.9664971>.

Álvarez-Arango, Luisa. (2005). Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Recuperado de <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/31357>.

Bartram, J; Ballance, R. 1996. *Water quality monitoring; a practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes*. Londres, UK, UNEP/WHO. 383 p

Carrera C y Fierro K (2001). Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua: Manual de monitoreo, EcoCiencia. (archivo PDF). Recuperado de <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/catalog/resGet.php?resId=56374>.

Chapman, D. 1996. *Water Quality Assessments. A guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. Chapman & Hall, Nueva York, EEUU, CRC Press, Boca Raton. <https://doi.org/10.4324/NOE0419216001>

Domínguez E, Fernández HR. *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. 1 ed. Argentina: Fundación Miguel Lillo; 2009. 656 p.

E. J. Galindo-Pérez et al., "Cave macroinvertebrates used as bioindicators of water quality", *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. 8, n.º 5, pp. 5-17, 2017. <https://doi.org/10.24850/jtyca-2017-05-01>

Gracia R, Jeniffer P. (2019). Análisis espacial y temporal del componente hidrobiológico de la Quebrada Las Delicias, cerros orientales de Bogotá D.C. (archivo PDF). Recuperado de https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/15079/1/2019%20_Hidrobiologicos_Calidad_Cerros%20orientales-.pdf.

González N, Sánchez S, Mairena A. Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua del trópico húmedo en las microcuencas de los alrededores de Bluefields, RAAS. *Wani*. 2013;68:53-63. Doi: <http://dx.doi.org/10.5377/wani.v68i0.1354>.

S. M. González G., Y. P. Ramírez, A. M. Meza S. y L. G. Dias, "Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad de agua de quebradas abastecedoras del municipio de Manizales", *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat.*, vol. 16, n.º 2, pp. 135–148, 2012.

HADDAD, E. (2007, julio). Influências antrópica na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio São Miguel, Carste do alto São Francisco. (archivo PDF). Recuperado de <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2010v25n49p79>

Hernández, A, (2009). Calidad de vida y medio ambiente urbano. Indicadores locales de sostenibilidad y calidad de vida urbana. Recuperado de <http://www.revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/70/453>.

Jacobsen D., y Encalada A., (1998). The macroinvertebrate fauna of Ecuadorian Highland streams in the wet and dry seasons, *Hidrobiologie* 142 (1) 53-70pp.

Jauregui A. Daysi Y. (2019). Determinación de la calidad del agua empleando macroinvertebrados bentónicos y parámetros fisicoquímicos en el Río Sendamal, Celendin. (archivo PDF). Recuperado de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/3299>.

Lievano, A. (2007). Guía ilustrada de los macroinvertebrados acuáticos del Río Bahamon. Recuperado de https://books.google.com.co/books/about/Gu%C3%ADa_ilustrada_de_los_macroinvertebrados.html?id=eziBPwAACAAJ&redir_esc=y.

Naranjo-López JC, López-del Castillo P. Biological monitoring working party, un índice biótico con potencialidades para evaluar la calidad de las aguas en ríos cubanos. *Ciencia en su PC* 2013;(2):15-25.

Neumann M., Liess M. and Ralf S. (2003). An expert system to estimate the pesticide contamination of small streams using benthic macroinvertebrates as bioindicators. Knowledge base of LIMPACT.

Patiño, G. (2015). Evaluación de la calidad del agua por medio de bioindicadores macroinvertebrados acuáticos en la quebrada La Vieja. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.04.023>.

PÉREZ-ORTEGA DJ, PÉREZ D, AMÉRICO J, CARVALHO S, SEGOVIA J 2016. Development of Index of Resilience for Surface Water in Watersheds. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, v.10, n.1, p.72-82.

Roldán, G. (2003). La historia de los sistemas de bioindicación. En *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia*. Recuperado de <https://www.worldcat.org/title/bioindicacion-de-la-calidad-del-agua-en-colombia-propuesta-para-el-uso-del-metodo-bmwp-col/oclc/777320536>.

Segnini, S y Chacón, M. (2005). Caracterización fisicoquímica del hábitat interno y ribereño de los ríos andinos en la cordillera de Merida. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/262854695_2005_Caracterizacion_fisicoquimica_del_habitat_interno_y_ribereno_de_rios_andinos_en_la_Cordillera_de_Merida_Venezuela.

Sierra CA. Calidad del Agua. Evaluación y diagnóstico. Universidad de Medellín; 2011, 457 p.

Silva. (2008). Manual de monitoreo del agua para el investigador local. IAVH. Recuperado de <http://www.humboldt.org.co/es/noticias/zona-prensa/item/337-manual-de-monitoreo-del-agua-para-el-investigador-local>.

Tejero, I, Suárez, J, Jácome, A, Temprano, J y García, C, (2001) Problemas de ingeniería sanitaria y ambiental. (archivo PDF). Recuperado de http://caminos.udc.es/docencia/archivos/planes_estudio/ingenieria_caminos/cuarto/402_IA.pdf.

Water Resources Commission ACT, (1996). An Act to establish a Water Resources Commission, to provide for its composition and functions on the regulation and management of the utilisation of water resources in Ghana and for related matters. Recuperado de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/gha10691.pdf>

Zúñiga, C. (2013). Bioindicadores de calidad de agua y caudal ambiental. Recuperado de <https://limnologiauniquindio.files.wordpress.com/2012/08/bmwp-valle-zc3bac3b1iga-m-2009-capitulo-7-bioindicadores-de-calidad-de-agua-y-caudal-ambiental.pdf>