

Uso de indicadores biológicos para determinar la calidad del agua río Chontales en el sector Finca San Luis Gambita Santander

Use of biological indicators to determine water quality in the Chontales River in the Finca San Luis Gambita Santander sector

Claudia Rocío Suarez Castillo, Luz Angela Cuellar Rodríguez, Mónica Helena Rodríguez Mesa, Pedro Mauricio Acosta.

Resumen



El agua es un recurso natural muy importante, permite el desarrollo de la vida e influye en el comportamiento de los factores abióticos que se interrelacionan en la ecología de un lugar, es importante conocer en qué estado se encuentra para poder establecer mecanismos de protección y recuperación de las fuentes de agua especialmente en las partes altas de las cuencas hidrográficas. El objetivo del presente estudio es determinar la calidad del agua mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos en un tramo del río Chontales, el cual hace parte de la microcuenca del río Lenguaruco de la cuenca Media y Baja del río Suárez, por medio de la aplicación de índices biológicos de calidad de agua, identificando los macroinvertebrados presentes en el área. Las comunidades de macroinvertebrados se utilizan como testigos biológicos del nivel de deterioro ambiental de las corrientes superficiales, ya que reflejan las condiciones y los cambios ecológicos que ocurren en el sistema (Alba Tercedor, 2015). En el estudio se encontraron 55 familias, de las cuales sobresalen: *Baetidae* con un 30,5%, seguida de *Libellulidae* con un 28,7% y *Palaemonidae* con una presencia del 6,7% de la población total; las demás se encuentran por debajo del 5% de representatividad. Según el BMW[®] P/Col. el agua analizada es de clase dos, aguas con algunos efectos de contaminación, determinando una buena calidad de agua y pocas intervenciones en dicha microcuenca.

Palabras clave: Caudal ecológico, Macroinvertebrados, Gámbita, Calidad de agua, Río Chontales, microcuenca.

Abstract



Water is a very important natural resource, it allows the development of life and influences the behavior of abiotic factors that are interrelated in the ecology of a place, it is important to know what state it is in to establish protection and recovery mechanisms from water sources especially in the upper parts of the hydrographic basins. The objective of the present study is to determine the quality of the water by means of aquatic macroinvertebrates and physicochemical parameters in a section of the Chontales river, which is part of the micro-basin of the Lenguaruco river in the Middle and Lower basin of the Suárez river, through the application of biological indices of water quality, identifying the macroinvertebrates present in the area. Macroinvertebrate communities are used as biological witnesses to the level of environmental deterioration of surface currents, since they reflect the conditions and ecological changes that occur in the system (Alba Tercedor, 2015). In the study, 55 families were found, of which the following stand out: *Baetidae* with 30.5%, followed by *Libellulidae* with 28.7% and *Palaeomonidae* with a presence of 6.7% of the total population; the rest are below 5% representative. According to the BMW[®] P / Col. the water analyzed is class two, waters with some pollution effects, determining good water quality and few interventions in said micro-basin.

Keywords: Ecological flow, Macroinvertebrates, Gámbita, Water quality, Chontales River, micro-watershed.

Recibido / Received: 25 de Abril de 2019 Aprobado / Approved: 28 de Mayo de 2019

Tipo de artículo / Type of paper: Investigación científica y tecnológica

Afiliación Institucional de los autores / Institutional Affiliation of authors: Universidad Santo Tomas

Autor para comunicaciones / Author communications: luz.cuellar@usantoto.edu.co

Los autores declaran que no tienen conflicto de interés.

Introducción

La preservación de la integridad de las fuentes de agua, entendida como el mantenimiento de su estructura y función, implica conservar el balance natural de sus condiciones químicas, físicas y biológicas como un todo. Aunque determinar el estado ambiental de los ríos y quebradas es difícil, para protegerlos o restaurarlos es fundamental conocer su estado actual, particularmente cuando la condición de referencia de las corrientes se desconoce y éstas han estado sujetas por largo tiempo a perturbaciones antropogénicas (Márquez., 1996).

Los organismos vivos cumplen un papel fundamental en el equilibrio del medio, influenciados por diferentes factores abióticos sus comportamientos. En esta ocasión se hace hincapié en los macroinvertebrados. Son organismos invertebrados que desarrollan una o más fases de su ciclo de vida en el agua, los cuales poseen tamaños entre 0.5mm hasta 5.0mm (Roldán-Pérez, 2016). Estos se desarrollan en microhábitats, formados por conglomerados de especies de vegetación, se adhieren a rocas y troncos, donde el oxígeno, la cantidad de nutrientes y las condiciones ambientales, varían. De igual manera, la presencia y desarrollo de los macroinvertebrados, dependen de si un ecosistema es lentic, el cual, se caracteriza por poseer aguas estacionarias o lotico que se caracteriza por la influencia de aguas fluidas en constante movimiento (Tapia, 2016).

La presencia de los macroinvertebrados, varían en los diferentes ecosistemas loticos como los ríos, donde la disponibilidad de nutrientes está ligada en cierta forma a la dinámica del río, es decir, la velocidad del flujo y la energía que se dinamiza, debido a que dependen del entorno terrestre para que se pueda producir (Tapia, 2016).

Las comunidades de macroinvertebrados se utilizan como testigos biológicos del nivel de deterioro ambiental de las corrientes superficiales, ya que reflejan las condiciones y los cambios ecológicos que ocurren en el sistema (Alba Tercedor, 2015). La integridad de las comunidades de invertebrados depende mucho de la integridad estructural de la corriente y de los procesos asociados con el hábitat físico. La degradación del hábitat impacta negativamente a estas comunidades, lo que a su turno da lugar al decrecimiento

del ciclo de nutrientes y de la producción de peces, como los salmónidos, que tienen a los macroinvertebrados como eslabón de su cadena trófica (García, 1999) (Gil et al, 2015).

Los métodos biológicos constituyen unos magníficos aliados para ahorrar y encauzar mejor los recursos disponibles en la vigilancia de la contaminación y en la gestión ambiental (Alba Tercedor, 1996). En una cuenca, después de clasificar y cuantificar los macroinvertebrados de una corriente, una persona encargada de la gestión ambiental en el municipio puede identificar en un mapa los puntos conflictivos o vulnerables a mayor contaminación y aquellos que, por el contrario, presenten una calidad muy buena, buena o aceptable. Hoy en día se está en condiciones de aprovechar mejor los recursos humanos y económicos disponibles, y, por lo general, los análisis físicos y químicos exhaustivos se realizan en los puntos más vulnerables a la contaminación (Figuroa et al., 2000). De tal modo, en vez de desperdiciar energías y dinero en analizar las aguas en las zonas sin problemas, resulta más productivo canalizar los recursos para conocer con exactitud quién contamina y cuándo y cuáles productos son los contaminantes que han indicado los macroinvertebrados en los análisis biológicos previos (Gómez., 2007).

Por otro lado, es bien sabido que las civilizaciones se iniciaron cerca de las fuentes hídricas como los ríos, puesto que el agua es un factor muy importante para el desarrollo de la vida en sociedad, lo que produce que la calidad de las aguas de los ríos tiende a ser modificada y a disminuirse, generando que el recurso hídrico se contamine, alterando el equilibrio medioambiental. Es por esto por lo que, se busca determinar la calidad del agua del río Chontales en el sector Finca San Luis municipio de Gambita Santander, determinando si posee niveles de contaminación y el porqué de estos; en cuanto a la determinación de la calidad de agua por macroinvertebrados, es una de las maneras más implementadas, a causa de que, estos organismos poseen cierta sensibilidad a la presencia de sustancias contaminantes, donde, reaccionan de manera rápida a estos. De igual manera, al encontrarse cierto tipo de organismos que pueden ser poco sensibles a estos, puede que se encuentren en mayores cantidades. De igual manera, la oblicuidad y la facilidad de selección a causa de su abundancia son otras de las características que los macroinvertebrados poseen, lo que les permite ser indicadores de calidad de agua (Tapia, 2016) (Merritt., 1996).

Metodología

Para la realización de esta investigación, se dividió la metodología en tres etapas: pre-campo, campo y post campo. Inicialmente, en la etapa de pre-campo, se realizó la búsqueda bibliográfica de la zona de estudio, teniendo en cuenta la información reportada en el Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca media y bajo Suárez (POMCA Medio y Bajo Suárez) en lo referente a las condiciones medioambientales de la misma (EOT.2003); y también. En la etapa de campo se llevaron a cabo monitores de la calidad de agua en tres puntos de la corriente objeto de estudio en dos épocas hidrológicas distintas, época de verano y época de invierno. En la etapa postcampo se analizaron los indicadores de calidad de agua por presencia de macroinvertebrados.

Pre campo

En esta etapa es necesario realizar una descripción de la zona de estudio

- Localización geográfica
- Identificación de la red de drenaje de la zona.
- Definición de puntos de monitoreo y periodos de análisis.
- Características climatológicas de la zona.
- Zonificación ambiental.

Campo

Diseño del muestreo. Se establecen tres muestreos, uno en el año 2018 que correspondió a periodo húmedo; los otros dos muestreos correspondieron al año 2019 uno correspondió al período seco (febrero) y otro al período lluvioso (abril). Para las tres temporadas de muestreo se identificaron 3 puntos de monitoreo tal como se muestra en la figura 2. Las coordenadas de ubicación de cada punto se pueden ver en la tabla 1.

Figura 1. Localización puntos de monitoreo

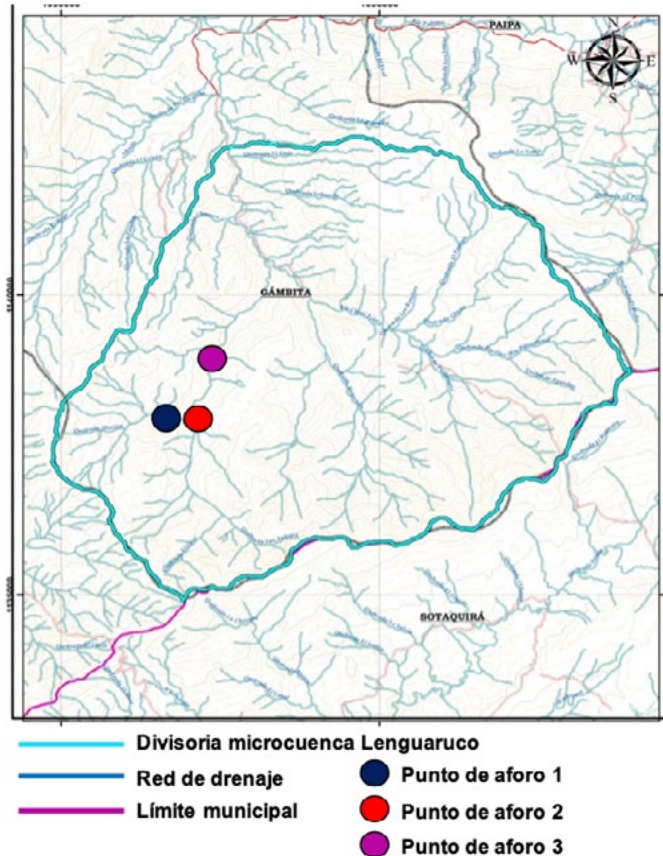


Tabla 1. Localización puntos de monitoreo

Punto de aforo	X	Y
1	1092455.68	1138951.07
2	1092032.81	1137971.94
3	1091693.93	1138003.28

Para establecer las características hidráulicas del cauce es necesario realizar un levantamiento de las secciones transversales del mismo para identificar condiciones geométricas como ancho y profundidad del cauce, Para los períodos de análisis establecidos se deben llevar a cabo aforos con molinete y trazadores.

El aforo de los puntos se ejecutará utilizando el correntómetro de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomas Seccional Tunja. Sin embargo, en relación con esta metodología se debe tener en cuenta recomendaciones generales al realizar dicho procedimiento en corrientes naturales. Dichas recomendaciones son las siguientes para el estudio según (Machado, A., 2001). Para profundidades de 0.0 a 3.0 metros se requieren 3 tomas de velocidad

Tomar las velocidades en puntos diferentes

A partir de las recomendaciones mencionadas anteriormente, se ejecuta el aforo del rio en los 3 puntos determinando el caudal y la velocidad de la corriente.

Indicadores fisicoquímicos y microbiológicos. Fueron medidos algunos indicadores fisicoquímicos como pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno. Se midió el número más probable (NMP) de coliformes totales y fecales por el método de tubos múltiples y fluorescencia. Los valores de estos indicadores se analizaron desde el punto de vista de las limitaciones que pueden presentarse para el uso del agua de la cuenca, según el Decreto 3910 del 2010.

Macroinvertebrados acuáticos

Para las muestras de macroinvertebrados, en cada estación se tomó un tramo de 30 m de longitud del cauce, en

este transecto fueron identificados los diferentes hábitats presentes y en cada uno de ellos se tomaron como mínimo tres muestras. Para cada estación la unidad de esfuerzo fue de 60 minutos. Se hizo captura manual, con red pantalla y con red D-net. Las muestras extraídas se colocaron en una bandeja blanca y de allí, con la ayuda de pinzas y lupa, se pasaron los organismos a frascos con alcohol al 70%, para su posterior identificación en el laboratorio.

Los ejemplares colectados se identificaron en el laboratorio con la ayuda de estereoscopios y de claves taxonómicas. Se registraron los datos de la familia, el género, el número de individuos colectados y la puntuación del grado de tolerancia a la contaminación.

Análisis de la información. Para determinar la calidad del agua se utilizaron el índice de diversidad de Shannon-Weaver (Shannon, 1949), cuyos valores esperados van entre 0 y 5, el índice BMWP modificado para Colombia.

El índice ETP se calculó dividiendo el número de individuos de los órdenes *Ephemeroptera*, *Trichoptera* y *Plecoptera* por el número total de individuos colectados; los valores más altos significan aguas más oxigenadas y limpias. El índice de dípteros se calculó dividiendo el número de individuos del orden Diptera por el número total de individuos colectados; los valores más altos determinan el enriquecimiento del agua con materia orgánica.

Para el cálculo del índice BMWP se hizo la suma de las puntuaciones ecológicas de las familias según su grado de tolerancia a la eutrofización. El ASPT se calculó dividiendo el BMWP por el número de familias. Los valores ASPT se encuentran en un rango entre 0 y 10 y expresan el promedio de indicación de calidad del agua que tienen las familias de macroinvertebrados encontradas. Los valores del BMWP y el ASPT se correlacionan con cinco grados de contaminación y con cinco colores que los representan en la cartografía de calidad de las aguas (Álvarez et al., 2006) (Figueroa., 2000).

Las diferencias en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados se evaluaron mediante la aplicación del índice de similitud de Bray-Curtis. El mapa de calidad de aguas se construyó con los valores de ASPT de acuerdo con la clasificación de las aguas y el estado ecológico presentados en la tabla 5.

Los puntos donde se realizaron los muestreos fueron asignados de manera aleatoria, pero, se tuvieron en cuenta puntos importantes del cauce, como, por ejemplo, la influencia de algún cambio de nivel y de caudal en el cauce. Seguido de esto, con ayuda del estereoscopio, se pudieron identificar trece (13) órdenes de macroinvertebrados, con un total de veinticuatro (24) familias. Para realizar la identificación de macroinvertebrados, se tuvo de base la Guía de macroinvertebrados acuáticos en el departamento de Antioquia, del autor Gabriel Roldán Pérez; esta guía, permite identificar los macroinvertebrados que actúan como indicadores de calidad de agua y de esta manera, realizar estudios de impacto ambiental (Roldán, 1996).

Toma de muestras

Se emplea muestreo simple para el análisis de la calidad de agua del río Chontales, ya que se desean conocer las características del agua en puntos específicos tal como se definió en la fase pre-campo, en el sitio de muestreo se organizan las botellas debidamente rotuladas para recolectar volumen de muestra necesario para análisis físico-químicos que serán enviados al laboratorio, adicional se diligencia un formato de datos de campo de la muestra en el cual se registran, observaciones del entorno y de las condiciones ambientales.

Para la recolección de muestras para cada uno de los análisis que se requiere refrigeración, tapando inmediatamente para transporte, se empaca en las neveras plásticas o de icopor con material refrigerante, en lo posible siempre ICE PACK (evitar bolsas de hielo o hielo seco). Una vez empacadas las muestras, anotar cualquier otra consideración relevante en la toma de la muestra y que pueda influir o ser tomada como criterio para futuras observaciones o requerimientos entre las partes. Las muestras se deben entregar en el laboratorio lo más pronto posible. Como máximo en un término de seis (6) horas desde el momento en que se inició el proceso de recolección. Si no es posible cumplir con este tiempo, se deben prever procedimientos de almacenamiento y preservación para asegurar su entrega en las horas previstas por el laboratorio. (Nava Tovar & Instituto Nacional de Salud Bogotá, 2011). Se recoge volumen de muestra para características microbiológicas de microorganismos básicos en envase de vidrio debidamente rotulado.

Análisis físicoquímicos y microbiológicos

Para evaluar los parámetros físicoquímicos se utilizarán equipos portátiles de medición como el medidor multi-parámetro HI 9829 es ideal para mediciones en terreno tal como en lagos, ríos y mares. Se caracteriza por ser resistente, impermeable y fácil de usar. El medidor puede mostrar en pantalla desde 1 hasta 12 parámetros simultáneamente. El equipo puede medir hasta 15 parámetros seleccionables por el usuario.

Empleando una de las sondas de la serie HI 76x9829, el HI 9829 puede medir los parámetros de calidad del agua tales como el pH, ORP (Potencial de Óxido Reducción), conductividad, turbidez, temperatura, iones de amonio, nitrato, cloruro (NH_4^+ , NO_3^- -N o Cl^-), oxígeno disuelto (como % de saturación o concentración), resistividad, TDS (Sólidos Totales Disueltos), salinidad y gravedad específica de agua de mar. Se mide la presión atmosférica para compensar la concentración de oxígeno disuelto.

Variables como temperatura, oxígeno disuelto y pH serán medidos con equipo de campo directamente en el sitio, mientras que los restantes se determinarán, en un laboratorio acreditado por el IDEAM, manteniendo la preservación de la muestra a 4 ± 2 °C solicitado por el protocolo de conservación de muestras del laboratorio.

Los análisis microbiológicos serán realizados en el laboratorio de Microbiología de la universidad Santo Tomás, se aplicarán técnicas de macroscopía y microscopía, en el Laboratorio de Microbiología de la Universidad Santo Tomás de la ciudad de Tunja, teniendo en cuenta, la Norma Técnica Colombiana (Escobar 2012 cita a NTC 4491-2) sobre procedimientos microbiológicos. Con las muestras extraídas se realizarán un juego de diluciones seriadas de cada una de las muestras 1×10^{-4} en solución fisiológica y en relación a obtener una muestra total con los microorganismos en bajas concentraciones se realizará un aislamiento en las placas con medios Saboureaud tripteína de soya. Estas cajas de deben incubar a 28 °C por 5-7 días para el caso de los hongos y a 37 °C por 48 h para las bacterias. (Escobar 2012 cita a NTC 4491-2).

La caracterización macroscópica, se realizará con base en los siguientes criterios: tamaño de las colonias (puntiforme, pequeñas, medianas, grandes); color;

forma (regulares, redondas, ovaladas, irregulares, filamentosas, rizoides); elevación de las colonias (plana, elevada, convexa monticular); bordes (entero, ondulado, aserrado, filamentosos y rizado); superficie; olor (amoniaco, fétido, dulzón) y crecimiento (abundante, moderado, escaso). Microscopia Se realizará la tinción de Gram (MADIGAN et al., 2000) y se utilizará el método miniaturizado de identificación, mediante el kit BBL Crystal (Marca B. D. Diagnostic Systems Europe). Fue seleccionado este kit usando de la bibliografía de los procesos de utilización y degradación de sustratos específicos por parte de los microorganismos detectados, por distintos sistemas indicadores (MACFADDIN, 2000), para bacilos Gram (-), que pertenecen a la familia Enterobacteriaceae, así como los más frecuentes aislamientos de bacilos Gram (-), no fermentadores de glucosa. Además, se usará un kit para organismos Gram (+)(cocos y bacilos).

Resultados

Descripción física

La cuenca hidrográfica del Río Medio y Bajo Suárez se localiza en los departamentos de Boyacá y Santander. Se extiende aproximadamente entre la Latitud 5.403062°N a 6.790469°N y Longitud 76.860701°W a 73.070052°W, en la zona centro del país. Nace a una altitud cercana a los 3850 m.s.n.m. y desemboca en el Río Sogamoso a 350 m.s.n.m.

Específicamente La Finca San Luis se encuentra ubicada en la microcuenca del río Chontales la cual se ubica en la subcuenca del río Lenguaruco, la cual hace parte de la cuenca Media y Baja del Río Suárez. Por otra parte, la Finca se ubica en la Vereda La Chinita del municipio de Gambita- Santander, cuenta con una extensión total de 1812 hectáreas. En la figura 1 se puede apreciar la localización general de la zona de estudio.

Figura 2. Localización general zona de estudio



En la zona de influencia de la Finca San Luis se encuentran las estaciones pluviométricas de Sotaquirá y Palermo las cuales son las encargadas de recolectar la información de precipitación. Los datos analizados fueron la precipitación mensual multianual reportándose un promedio de precipitación de 129 mm/mes. El clima de la zona de estudio tiene una tendencia bimodal, con máximos marcados en los meses de abril, mayo y octubre con

valores superiores a los 100 mm/mes y que alcanzan los 205 mm/mes;

De acuerdo con la zonificación ambiental de la microcuenca se encuentran diferentes categorías establecidas. En la parte superior se establecen zonas de conservación y protección ambiental, El conflicto de uso del recurso hídrico presentado en la microcuenca se da principalmente debido a que esta zona tiene déficit de agua en

temporada seca, es decir, presenta poca precipitación en dicho periodo. Esto conlleva, al conflicto de uso por medio de los habitantes para satisfacer sus necesidades básicas (Cortolima., 2017).

Según la geomorfología de la zona de estudio, posee desde pendientes moderadas a altas pendientes, donde se presenta topografía irregular, con buenos sistemas de drenajes, relacionados a los afloramientos de rocas estratificadas. Con relación al uso de suelo de la vereda donde se encuentra el paso del río donde se realizó el muestreo, se resaltan suelos aptos para bosques naturales primarios y secundarios, pastos naturales, rastrojos (EOT, 2003).

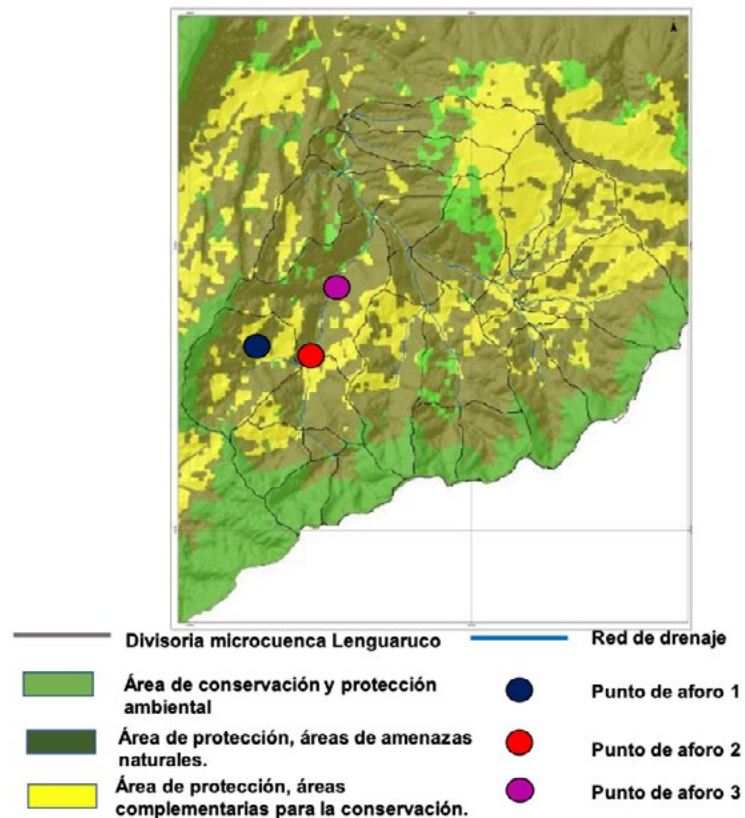
En cuanto a la vegetación presente en la vereda, se resaltan los bosques secundarios y herbáceas bajas, como gramíneas y leguminosas rastreras; estas son introducidas, en cierta parte, para la crianza y engorde de ganado. Especies de flora propias de la familia Fagaceae, Araliaceae, Rubiaceae, Euphorbiaceae, Clusiaceae, Ericaceae,

Theaceae, Winteraceae, entre otros. En cuanto a la fauna, su porcentaje de especies que habitan ha disminuido y se encuentra amenazadas, de las cuales se pueden resaltar el mico maicero, mapuro, conejo, ñeque, venado, zorro, oso de anteojos y guacharacas, entre otros (EOT, 2003).

Perfil de la Cuenca

De acuerdo con la zonificación ambiental de la microcuenca se encuentran diferentes categorías establecidas tal como se puede observar en la figura 3. En la parte superior se establecen zonas de conservación y protección ambiental, áreas de amenazas naturales y áreas complementarias para la conservación. En general, la cuenca presenta pendientes medias a altas (entre 50-80 %); el tramo del cauce con más pendiente es donde están ubicados los puntos de monitoreo 1 y 2, esta característica hace que estas aguas sean rápidas y que se tenga un cauce de lavado sin mucha acumulación de material finamente particulado.

Figura 3. Zonificación ambiental



Caudal y velocidad de la corriente

Los caudales promedio medido en cada uno de los puntos de aforo para las tres temporadas se reportan en la siguiente tabla. Se hace evidente la disminución del caudal y del área transversal del cauce en la época de verano ver Tabla 2.

Tabla 2. Registros de condiciones geométricas e hidráulicas.

Punto de aforo	Año 2018			Año 2019			Invierno		
	Invierno	Verano	Invierno	Verano	Verano	Invierno	Verano	Verano	Invierno
	Profundidad promedio del cauce	Velocidad m/seg	Caudal m ³ /seg	Profundidad promedio del cauce	Velocidad m/seg	Caudal m ³ /seg	Profundidad promedio del cauce	Velocidad m/seg	Caudal m ³ /seg
1	0.4	0.6	0.732	0.2	0.1	0.0635	0.22	0.15	0.1
2	0.7	15	1.14	0.19	0.3	0.28	0.24	0.38	0.32
3	2	1.92	4.9	0.3	0.4	0.35	0.36	0.42	0.38

Características del lecho y las orillas de la Cuenca

El lecho y los márgenes del cauce son rocosos. En el punto de monitoreo 1 hay presencia de rocas de gran tamaño y piedras. El sustrato de los demás puntos de aforo lo constituyen rocas, piedras, guijarros y grava. En todo el cauce el agua fluye entre las rocas con paso muy restringido para los peces. Estas características del lecho proporcionan a los macroinvertebrados mucha disponibilidad de hábitat y la oxigenación del agua suficiente para mineralizar los aportes de materia orgánica mediante oxidación. En cada uno de los puntos de aforo los hábitats son numerosos; predominan corrientes, charcas, rizos, rápidos y cascadas.

Vegetación de ribera. Las riberas del cauce ubicadas aguas arriba tienen mejor cobertura arbórea con respecto al punto de aforo 3. La margen derecha del cauce presenta grupos ocasionales de árboles; la margen izquierda, más desprotegida, presenta árboles espaciados regularmente, algunos tramos presentan cobertura de árboles ocasionales.

Calidad fisicoquímica y microbiológica del agua del río chontales

La subcuenca Lenguaruco se encuentra afectada por diferentes fuentes de contaminación, en términos generales, se encontró que la cuenca está afectada por escorrentías provenientes de los cultivos y vertimientos de aguas residuales domésticas y pecuarias.

Tabla 3. Registros de los análisis fisicoquímicos y Microbiológicos

Indicadores fisicoquímicos y microbiológicos							
Muestra 2018	pH (Unidades)	Temperatura agua (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Saturación de O2 (%)	Conductividad (µS/cm)	Coliformes totales (NMP)	Escherichia coli (NMP)
Muestra 2018 periodo lluvioso							
E1	7,3	19,5	5,45	67,93	19,1	460	460
E2	7,07	21,7	7,2	67,93	18,9	360	75
E3	7,27	20,1	5,18	67,93	18,4	480	80

Muestra 2019 periodo lluvioso							
E1	6,96	22,4	7,2	69,2	19,2	1100	1100
E2	6,83	20,3	7,24	69,2	19,4	1400	800
E3	7,03	19,2	5,5	69,2	19,5	1900	1100
Muestra 2019 periodo Seco							
E1	7,3	20,3	5,6	67,93	13,1	93.001	40
E2	7,21	20,1	5,2	67,83	13,8	95.001	50
E3	6,8	20,3	9,6	66,93	12,5	91.001	2008

En la tabla 3 se encuentran los registros de los análisis físico-químicos, medidos en el período de lluvias y secos. En ella se observa que la temperatura del agua osciló entre 19,5 y 22,4 °C, valores comunes para lugares ubicados entre 1600 y 2500 msnm, de acuerdo con la cartografía. También se observa que los valores de pH en todos los puntos de aforo son cercanos al neutro (7,07-6,83 unidades), que son favorables para la biota acuática y no son limitantes para ningún uso. De acuerdo con la conductividad, estas aguas son blandas y no presentan restricciones de uso, porque tienen baja conductividad y baja salinidad.

Debido a la pendiente de la cuenca y a su lecho rocoso que genera alta turbulencia, el agua es bien oxigenada. La tabla 3 muestra que la concentración de oxígeno disuelto fue superior a 4 mg/L, valor que se considera límite para aguas naturales (Brasil, Conama, 1986; Ramírez y Viña,

1998). La saturación de oxígeno estuvo entre 60 y 70 % en todas las estaciones. Estas saturaciones de oxígeno no son restrictivas para la mayoría de las formas de vida acuática. Sin embargo, de acuerdo con el Decreto 3930 de 2010 este indicador no presenta restricciones para el uso recreativo directo primario y secundario.

Todas las estaciones presentan contaminación fecal, según el NMP de coliformes totales y fecales por 100 mL encontrados, no tienen restricciones para ser usadas como agua para potabilizar, aun con tratamiento convencional, para recreación de contacto primario para ser usadas en tratamiento de potabilización con sólo desinfección y para uso recreativo de contacto directo, aunque las estaciones en el periodo seco del 2019 si presentan restricciones de contacto directo.

Tabla 4. Registros de macroinvertebrados encontrados y su relación con las temporadas de muestreo.

Orden	Familia	N° BMWP	Genero	2018 Temporada seca				2019 Temporada de lluvia				2019- temporada seca									
				E1		E2		E3		E1		E2		E3		E1		E2		E3	
				Febr	Abri	Febr	Abri	Febr	Abri	Febr	Abri	Febr	Abri	Febr	Abri	Febr	Abri	Febr	Abri	Febr	Abri
Diptera	Psychodidae	2	Maruina																		
			Maruina (Aculcina)																		
			Maruina Sp2																		
			Maruina Sp3																		
	Ceratopogonidae	5	Probezzia																		
Chironomidae	2	Si	4	21	28	64	14	31	17	80	20	90	6	48	9	5	46	55	60	93	
Simuliidae	7	Simulium	10	5	4	1	9	2	22	15	177	243	246	241	1		2		5	4	
Hemiptera	Corixidae	5	Tenegobia																		
	Belostomatidae	4	Belostoma																		
			Cryphocricos																		
	Naucoridae	8	Limnoscotis	1	15	2	27	7	8	8	11	8	31	9	16	2	11	12	17	15	23
	Gerridae	8	Chamatrometa																		
Veliidae	8	Rhagovelia	3	18		29		22	1	13		1	2	12	2	23	8	5	3	6	
Número de taxa				25	31	20	39	20	32	33	29	32	32	40	32	25	28	22	35	33	
Número de individuos por muestreo				117	227	194	358	179	206	226	444	433	844	500	697	159	113	235	235	332	417
Número total de individuos				344		552		385		670		1277		1197		272		570		749	

En cuanto a los valores de abundancias de macroinvertebrados encontradas en los tres muestreos se identifican en la tabla 4, un gran número de individuos por muestreo, presentando el mayor número en el mes de abril del año 2019. Los resultados obtenidos para los índices de diversidad, BMWP/Col1, ASPT, índice de Díptera y ETP se registran en la Tabla 4. El índice BMWP/Col1 no muestra un patrón definido y no concuerda con los valores de

colimetría presuntiva, debido a que estas son corrientes muy bien oxigenadas y con muchos hábitats, entre los que predominan rápidos y rizos (caballitos) que influyen en los resultados. En contraste, el ASPT resultó ser mejor índice de medición, ya que calcula el promedio de la puntuación de tolerancia. Este índice muestra que la calidad del agua va disminuyendo desde el nacimiento hasta la desembocadura de esta cuenca.

Tabla 5. Índices biológicos.

Estaciones	BMWP	Nº Familias	ASPT	Diversidad	Índice de díptera	Índice ETP
2018 Seco	E1	165	7,5	1.303	Media	0,09
	E2	180	7,2	0.819	Baja	0,18
	E3	118	6,9	1.012	Media	0,15
	E1	170	7,1	1.154	Media	0,18
	E2	160	7,0	0.926	Baja	0,11
	E3	169	6,8	0.998	Baja	0,07
2019 Lluvias	E1	143	6,8	1.380	Media	0,04
	E2	126	6,6	1.089	Media	0,16
	E3	142	6,8	1.176	Media	0,22
	E1	137	6,5	0.747	Baja	0,03
2019 seco	E1	165	7,5	1.303	Media	0,09
	E2	180	7,2	0.819	Baja	0,18
	E3	118	6,9	1.012	Media	0,15
	E1	170	7,1	1.154	Media	0,18
	E2	160	7,0	0.926	Baja	0,11
	E3	169	6,8	0.998	Baja	0,07

En la Tabla 5 se identifica la presencia de diversidades bajas, menores de 1,0, se caracterizó por una alta abundancia de Similitud y de Physa, lo que explica el menor valor de la diversidad. Los mayores valores de diversidad fueron hallados en las estaciones E1 tanto en temporadas secas como lluviosa y que corresponden a las partes más altas de la cuenca y por tanto, menos intervenidas. Las demás estaciones presentaron diversidades medias. Se observa que la abundancia tiende a aumentar hacia las estaciones más bajas, las cuales también muestran los índices de Díptera más altos que indican mayor contenido de materia orgánica. Por el contrario, los valores del índice ETP, que indica aguas limpias, son menores en estas estaciones más bajas.

De acuerdo con el ASPT todas las estaciones tienen agua Clase II, aceptable (ligeramente contaminada); sin embargo, E10 presentó aguas Clase III, dudosa (aguas moderadamente contaminadas).

Discusión

En el tramo de estudio de la cuenca media y baja del Río Chontales, microcuenca leguaruco-sector Finca San Luís, municipio de Gambita, Santander, la pendiente

del cauce hace que estas aguas sean rápidas y que el lecho permanezca lavado sin mucha acumulación de material finamente particulado. El sustrato del lecho está conformado por rocas de gran tamaño que influyen en la turbulencia del agua y, por consiguiente, en el incremento de la concentración de oxígeno, factor importante para la recuperación de la calidad del agua, porque se incrementa la capacidad oxidante de la Cuenca para mineralizar los aportes de materia orgánica que llegan a su cauce.

En el caso de los tramos del cauce analizados en el estudio, las características del lecho fueron determinantes en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos. El sustrato del lecho conformado por rocas de diferente tamaño, más que todo mediano y grande, posibilita el movimiento del agua entre canales estrechos y constituye una base firme para la fijación o adherencia de organismos de vida sedentaria. La combinación de estas características con las altas pendientes propicia una alta diversidad de hábitats para los macroinvertebrados (rizos o caballitos, rápidos, corrientes, cascadas y pozas), factores que inciden en la alta biodiversidad de especies registrada.

Además, a pesar de que el cauce crece con las lluvias fuertes y arrastran materiales y macroinvertebrados, el número de taxa y de individuos encontrados en la mayoría de las estaciones durante los dos momentos de muestreo no presentaron variaciones espaciales y temporales importantes, lo cual puede estar relacionado con la homogeneidad del sustrato en la mayoría de las estaciones.

En los tramos analizados, la temperatura del agua estuvo en valores de (19,5-22,4 °C), el pH (7,07-6,83 unidades) y la conductividad (13,1-24,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$, aguas blandas) se obtuvo valores dentro de los rangos normales, los cuales no son limitantes para ningún uso y desde el punto de vista limnológico no presentan rangos desfavorables para el establecimiento de la biota acuática.

El cauce se encuentra bien oxigenado, en todas las estaciones se superó el límite de 4 mg/L para aguas naturales. Las saturaciones de oxígeno no son restrictivas para la mayoría de las formas de vida acuática, porque están entre 60 % y 70 % en todas las estaciones, excepto la E1 (130 % O₂), que presenta sobresaturación debido a la alta turbulencia.

En cuanto a la calidad sanitaria del agua, las estaciones presentan buena calidad, pero en las demás estaciones excede los límites de calidad apropiados para producción de agua potable, recreación, uso pecuario y uso agrícola, si no reciben tratamiento intensivo previo. La restricción para potabilización del agua E3 puede ser superada con tratamiento convencional.

Entre los índices calculados utilizando la comunidad de macroinvertebrados, los valores del índice de diversidad en la mayoría de las estaciones no presentaron diferencias importantes, fluctuaron en un rango entre 1,01 y 1,38, con dos excepciones: E2, donde se presentó la menor diversidad por estar en el sitio de donde se toma el agua para el acueducto municipal, se caracterizó por tener un sustrato fangoso poco adecuado para el establecimiento de macroinvertebrados acuáticos.

El BMWP no mostró un patrón definido que pudiera indicar con claridad la calidad del agua, así que se optó por el ASPT, que indicó mejor tendencia para definir la calidad del agua por ser la puntuación promedio por taxón e incluir en su cálculo la riqueza de familias; de acuerdo con este índice, todas las estaciones tienen

agua Clase II, aceptable (aguas ligeramente contaminadas), excepto la E3 cuyas aguas son Clase III, dudosa (aguas moderadamente contaminadas), resultado que es coherente, porque esta estación es la más expuesta a la contaminación por muchas fuentes, ante todo por aguas residuales domésticas.

El índice de *Díptera*, cuyos mayores valores indican contaminación del agua por materia orgánica, mostró un patrón de incremento hacia las partes bajas de la cuenca, en concordancia con la mayor abundancia de individuos de macroinvertebrados y el mayor NMP de coliformes.

Conclusión

Como recomendación general se sugiere realizar control y vigilancia constantes de las fuentes de contaminación por materias fecales y materia orgánica en dicha cuenca. A pesar de que los tramos de la cuenca alta se encuentran en mejor estado, la presencia de contaminación fecal es una alarma para promover el seguimiento permanente, con el fin de preservar estas fuentes de abastecimiento de agua. Para lograrlo se puede tener como soporte la descripción de los sitios de muestreo y la de las fuentes de contaminación que se encuentran en el diagnóstico de este estudio.

Los resultados de este estudio sirven de base para que la autoridad ambiental dentro de sus competencias parta de una línea base para la ordenación del recurso hídrico de su jurisdicción, teniendo en cuenta que la parte alta de la microcuenca es una zona que no presenta mayor afectación antrópica y que es necesario generar los mecanismos de protección para contar en el futuro con la disponibilidad del recurso garantizando que cumpla con los estándares de calidad para acceso de agua apta para consumo humano aguas abajo de la cuenca.

Referencias

- [1] ALBA-TERCEDOR J., 1996.-"Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos". (en) IV Simposio del agua en Andalucía (SIAGA). Departamento de Biología Animal y Ecología. Universidad de Granada. Almería, Vol. II: 203-213.
- [2] ALBA-TERCEDOR, J. (2015). Orden Ephemeroptera. 40, 1–17. Retrieved from http://seaentomologia.org/IDE/@/revista_40.pdf

- [3] ALVAREZ, L., 2005.- Desarrollo para una metodología para la evaluación de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de los recursos hidrobiológicos. Contrato N° 05-01-24843-0424PS. Determinación de la calidad del agua 101 el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos “Alexander von Humboldt” y Luisa Fernanda Álvarez Arango.
- [4] AYRES, M; MURCIA, C.; LIMA, D; SANTOS, A., 2004.- BioEstat: estadísticas para las ciencias biológicas y médicas. Belem, Pará, Brasil. Sociedad Civil Mamiraua, Brasilia. p. 274
- [5] Cortolima. (2017). Macroinvertebrados acuáticos. 67–233. Retrieved from https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/estudios/a06.pdf
- [6] EOT. (2003). Esquema de ordenamiento territorial de Gámbita. 1–30. Retrieved from [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/DocumentosPDF/eot_documento_resumen_2003_gámbita_santander_\(61_pag_422_kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/DocumentosPDF/eot_documento_resumen_2003_gámbita_santander_(61_pag_422_kb).pdf)
- [7] Figueroa, T. De. (2015). Orden Plecoptera. 43, 1–14.
- [8] FIGUEROA, R.; ARAYA. E.; PARRA, O. & VALDIVINOS, C., 2000.- Macroinvertebrados Bentónicos como indicadores de calidad de agua. Centro de Ciencias Ambientales, EULA-Chile, Universidad de Concepción, Chile.
- [9] GARCIA, L., 1999.-Distribución espacial y temporal de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en el río Guadalajara de Buga con relación a la calidad de agua. Tesis: Universidad del Valle. Facultad de Ciencias, Santiago de Cali.
- [10] Gil, Z. E. R., 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/index.php/reiv3/article/view/108
- [11] GOMEZ, A.; NARANJO, D.; MARTÍNEZ, A & GALLEGU, D., 2007.-Calidad del agua en la parte alta de las cuencas Juan Cojo y el Salado (Girardot–Antioquia, Colombia). p. 112
- [12] GUERRERO, F.; MANJARRÉS, A. & NÚÑEZ, N., 2003.- Los macroinvertebrados acuáticos de Pozo Azul (Cuenca del río Gaira, Colombia) y su relación con la calidad del agua. Tesis: Universidad del Magdalena, Facultad de Ciencias Básicas, Santa Marta.
- [13] HURTADO, S.; GARCÍA, F. & GUTIÉRREZ, P., 2005.- “Importancia ecológica de los macroinvertebrados bentónicos de la subcuenca del río San Juan, Quere-taro, México”.(en) Folia Entomol. 44(3): 271-286.
- [14] INSTITUTO MI RÍO. 1997.-Aspecto Biológico y Fisicoquímico del río Medellín. Universidad de Antioquia. Medellín. Tomo I, p. 138
- [15] JARAMILLO, G., 1995.- Cuantificación de los grupos de microinvertebrados presentes en el licor mixto y determinación de su relación con la eficiencia en la planta de tratamiento de aguas residuales del retiro. Tesis: Universidad de Antioquia. Medellín.
- [16] LONGO, M.; ZAMORA, H.; ANDRADE, C. & CEBALLOS, V., 2006.- Comunidad de macroinvertebrados bentónicos y su relación con la calidad del agua de un sector del río Grande (sur-occidente colombiano). Tesis: Universidad del Cauca, Popayán.
- [17] MACHADO, A., 2001.- Caracterización fisicoquímica y biológica de las cuencas de los ríos Tapias y Tareas, Departamento de Caldas, Colombia. Universidad de Antioquia. Medellín.
- [18] MACHADO, A. & ROLDÁN, G. Estudio de las características fisicoquímicas y biológicas del río Anorí y sus principales afluentes. 1981. Actualidades Biológicas, 10 (35), p. 3 - 19.
- [19] MADIGAN M; MARTINKO J; PARKER, JACK. 2004. “brock biología de los microorganismos”; 10° edición; Pearson educación; Madrid.
- [20] MACFADDIN, J. F. 2000. Biochemical tests for identification of medical bacteria, 3rd ed. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, PA.
- [21] MARGALEF, R., 1983.- Limnología. Barcelona, Editorial Omega, p. 145
- [22] MARQUEZ, G., 1996.- Ecosistemas estratégicos y otros estudios de ecología ambiental. Satafé de Bogotá.

- [23] MERRITT, R. & CUMMINS, K., 1996.- Anintroduction to theaquatic insects of North America. Kendall/Hunt Publishing Company, Alabama. Tomo I – II.
- [24] MUSEO ENTOMOLÓGICO MARCIAL BENAVIDEZ, Centro de Investigación de Café. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Chinchiná, Caldas, Colombia. 2008.
- [25] NTC 44912. 2015. Microbiología de alimentos y alimentos para animales. Preparación de muestras para ensayo. Suspensión inicial y diluciones decimales para análisis microbiológico. Parte 2. Reglas específicas para la preparación de carne y productos cárnicos.
- [26] 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. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.335>
- [27] Tapia, L. 2016. Estudio de macroinvertebrados acuáticos. Aplicación del Índice BMWP. Río Miño. Salto de Tosende. (January). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3580.4241>

Los Autores



Claudia Rocío Suárez Castillo

Ingeniera Sanitaria y Ambiental Universidad de Boyacá. Magíster en Ingeniería Civil, con énfasis en recurso hídrico e hidro informática de la Universidad de Los Andes, Doctorando en Ingeniería de los Recursos Naturales Universidad de Oviedo, Consultora, asesora y diseñadora en proyectos de infraestructura en el área de recursos hidráulicos en diferentes entidades de las cuales se destaca. Corporación autónoma regional de Boyacá, fondo adaptación, consultoría técnica latinoamericana Contelac, Fonade- fondo financiero de proyectos de desarrollo. Instituto Desarrollo del Meta "IDM, - cpd Ingeniería.



Luz Angela Cuellar Rodríguez

Bióloga de la Universidad del Quindío, Doctora en Ciencias, área biología de la Universidad Nacional de la Plata, Buenos Aires, Argentina, becaria Beca Alexander von Humboldt. Docente investigador Universidad Santo Tomás seccional Tunja, docente de posgrado Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia, con experiencia en proyectos de investigación relacionados con microbiología y Biotecnología Ambiental.

<https://orcid.org/0000-0002-9573-8344>

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55356852000>



Mónica Helena Rodríguez Mesa

Ingeniera Civil egresada de Universidad Santo Tomás Seccional Tunja. Magister en Ingeniería Civil egresada de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Decana de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomás Seccional Tunja, con experiencia de 4 años como docente universitaria en áreas como: Impacto Ambiental, Acueductos, Tratamiento De Agua Potable, Investigación, Climatología, Hidrología, entre otros. Y amplio conocimiento en procesos de aseguramiento de la calidad universitaria.



Pedro Mauricio Acosta Castellanos

Ingeniero Civil - Universidad Santo Tomás, Especialista en comportamiento y conservación del recurso hídrico Universidad Santo Tomás, Especialista en ingeniería sanitaria y ambiental - Universidad de Buenos Aires, Magister en ingeniería sanitaria Universidad de Buenos Aires, Magister en Ingeniería Civil con énfasis en Hidroambiental. Doctorando en Formación en la Sociedad del Conocimiento, Universidad de Salamanca, España.

Consultor en las áreas de medio ambiente en Colombia dentro de las cuales se destacan las empresas, SIAMTEC SAS, CHAHER LTDA, VELNEC, entre otras. Docente Investigador de la Universidad Santo Tomás Seccional Tunja desde el 2011. Ha recibido reconocimientos internacionales en México en 2014 por el CONEIC, en el 2015 por la Universidad Autónoma de Nuevo León y en Perú por el CONEIC. Decano de la facultad de ingeniería ambiental de la Universidad Santo Tomás 2015 - a la fecha

<https://orcid.org/0000-0002-1010-7210>

Web of Science ResearcherID: AAG-3681-2020