

Quebrada La Popala: un análisis de calidad del agua desde algunas variables fisicoquímicas, microbiológicas y los macroinvertebrados acuáticos

La Popala creek: quality analysis of water from some physical- chemical, microbiological variables and aquatic macroinvertebrates

Recibido para evaluación: 06 de Junio de 2010
Aceptación: 30 de Marzo de 2011
Recibido versión final: 15 de Abril de 2011

Wandy Yohanna Milán Valoyes.¹
Orlando Caicedo Quintero.²
Néstor Jaime Aguirre Ramírez.³

RESUMEN

La quebrada La Popala es la fuente que abastece de agua a los habitantes del corregimiento de Bolombolo en Venecia, Antioquia, Colombia. En noviembre 14 y 28 de 2009, se ubicaron cuatro estaciones de muestreo, donde se aplicaron y analizaron variables fisicoquímicas, indicadores biológicos, variables microbiológicas, macroinvertebrados acuáticos y el índice biótico BMWP.

Las variables fisicoquímicas, los macroinvertebrados acuáticos y el índice BMWP indican mejores condiciones ambientales en la estación 2, ubicada a unos 150 m del nacimiento de la quebrada (estación 1), mientras que la estación 4, establecida cerca de la desembocadura al río Cauca, exhibe un deterioro del agua. Las estaciones 3 y 4 presentaron niveles altos de coliformes fecales, con un número mayor en la 4. No obstante, los resultados de las muestras tomadas de la red de distribución de agua potable del corregimiento de Bolombolo indican que el agua proveniente del acueducto presenta condiciones aptas para el consumo humano.

Palabras claves: calidad del agua, variables fisicoquímicas, variables microbiológicas, indicador biológico, macroinvertebrados acuáticos.

ABSTRACT.

The Popala creek supplies water to the people of Bolombolo in Venecia municipality in Antioquia, Colombia. In November 14th and 28th of 2009, four sampling station were located along the creek, to measure five sets of variables: physico- chemical, microbiological, aquatic macroinvertebrate, biological indicators and biotic index BMWP.

Physico- chemical variables, aquatic macroinvertebrates and index BMWP indicate good environmental conditions in station 2, located about 150 m from the headwaters (station 1). On the other hand, Station 4, located near to the Cauca River, exhibits a deterioration in water quality. Stations 3 and 4 displayed high levels of fecal coliforms. However, the samples taken from Bolombolo's water supply network indicate the water of the aqueduct is adequate for human consumption.

Key words: Physico- chemical variable, water quality, variable microbiological, biological indicator, aquatic macroinvertebrate.

1. Bióloga. Especialista en Manejo y Gestión del agua.

2. Biólogo. Profesor Escuela Ambiental. Facultad de Ingeniería. Grupo GAIA. Universidad de Antioquia.

3. Dr. Rer. Nat. Profesor Escuela Ambiental. Facultad de Ingeniería. Grupo GAIA. Universidad de Antioquia.

1. INTRODUCCION.

La quebrada La Popala que abastece de agua a los habitantes del corregimiento de Bolombolo, nace al noroeste del casco urbano de este corregimiento, ubicado en el municipio de Venecia, departamento de Antioquia y desemboca en el río Cauca, Colombia. La forma de su recorrido es circular con una buena densidad de drenaje y un tiempo de retención corto, lo que puede generar problemas en periodos de lluvias intensas. Las observaciones de campo permitieron apreciar que esta corriente es un sistema susceptible de contaminación. Los asentamientos urbanos próximos a la quebrada, el vertimiento directo de aguas residuales de origen doméstico, la deforestación y la presencia de áreas de manejo agrícola y pecuario son hechos que impactan negativamente las aguas de esta corriente. A ello, se suma la presencia de la falla de Sabanalarga localizada en la parte superior de la quebrada, lo que posiblemente genera infiltraciones profundas y alta carga de sedimentos (PBOT, 1999).

Para el estudio de la calidad del agua de este reoambiente se aplicaron y analizaron los siguientes referentes conceptuales: variables fisicoquímicas, indicadores biológicos, variables microbiológicas, macroinvertebrados acuáticos e índices bióticos. De acuerdo con Alba- Tercedor (1996), Prat (1998) y Roldán (1999), la calidad no es un concepto absoluto ni de fácil definición; es más bien un concepto relativo que depende del destino final del recurso.

Las variables fisicoquímicas solo dan una idea puntual sobre la calidad del agua, en tanto el monitoreo biológico informa sobre las variaciones en el tiempo (Alba- Tercedor, 1996). No obstante, para Prat (1998), el empleo de las variables químicas en investigaciones relacionadas con la calidad del agua tiene como ventajas, los cambios temporales detallados, la determinación precisa de los contaminantes y la fácil estandarización.

Por su parte, un indicador biológico acuático es aquel cuya presencia y abundancia responde acerca del estado del sistema en el cual habita (Mason, 1984, citado por Pinilla, 1998). Según Pinilla (1998), el empleo de los indicadores biológicos se ha enfocado hacia la detección de metales pesados, materia orgánica, nutrientes y pesticidas. Para Roldán (1999), un organismo es un indicador de la calidad del agua, cuando éste prevalece en un sistema de características definidas y cuando su población es superior al resto de los organismos con los que comparte el mismo hábitat.

En un monitoreo y seguimiento biótico de la calidad del agua, se incluyen entre otras variables, el análisis microbiológico y la composición y estructura de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos. Machado et al. (2004) muestrearon y analizaron coliformes fecales y coliformes totales en varios sitios de la quebrada la Vega en San Roque, Antioquia. Los resultados indicaron que la zona de estudio registra contaminación fecal. Arcos et al. (2005) presentan una revisión bibliográfica relacionada con la metodología y análisis de coliformes fecales y totales, virus y protozoos parásitos, como grupos relevantes en el estudio de la calidad sanitaria del agua.

La composición y estructura de los macroinvertebrados acuáticos ha recibido una considerable importancia en el estudio de las aguas corrientes superficiales. Las razones se fundamentan en que estos organismos poseen una alta respuesta a los gradientes ambientales; son, en su mayoría, sedentarios, lo que posibilita el análisis espacial de las condiciones ambientales; y presentan ciclos de vida largo, lo que permite una evaluación temporal de los efectos de la contaminación (Rosenberg y Resh, 1993; Alba- Tercedor, 1996; Shimizu, 1998).

El empleo de los macroinvertebrados acuáticos en la evaluación de la calidad del agua tiene por lo menos 100 años de antigüedad, y se considera que un 80% de la comunidad de macroinvertebrados dulceacuícolas ha sido utilizado en la valoración de las condiciones ambientales de las aguas corrientes (Roldán, 1999).

En algunas publicaciones, se asocia en términos de calidad, el análisis de variables fisicoquímicas y la composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos (Caicedo y Palacio, 1998; Posada et al., 2000; Caicedo et al., 2004; Gutiérrez et al., 2004; Milán y Beltrán, 2004; Barata et al., 2005; Alonso, 2006 y Valverde et al., 2009).

Del estudio de Caicedo y Palacio (1998) en la quebrada La Mosca en Guarne, Antioquia, se concluye que los valores de la demanda bioquímica de oxígeno, la turbiedad, los diferentes tipos de sólidos (totales, disueltos, suspendidos, sedimentables), el dióxido de carbono, los sulfatos, fosfatos y detergentes, el mayor número de taxa y el alto número poblacional del tricóptero *Mortoniella*,



son elementos concordantes en la evaluación de las condiciones ambientales de un sector de la quebrada. Posada et al. (2000), al evaluar la calidad del agua a través de las variables fisicoquímicas y la dinámica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, concluyeron que la cuenca de la quebrada Piedras Blancas (Antioquia) presenta condiciones oligo- mesotróficas.

Gutiérrez et al. (2004) presentan una implementación de la metodología de redes neuronales (RN) como herramienta para la estimación de la calidad del agua en la cuenca del río Bogotá. Este método propone clasificar la calidad fisicoquímica del agua empleando un grupo de taxa de macroinvertebrados acuáticos como indicadores a través de la metodología de Redes Neuronales.

Caicedo et al. (2004), al estudiar la calidad del agua de la quebrada La Vega en San Roque, Antioquia, estimaron que la mayoría de los resultados fisicoquímicos y la composición de la comunidad de los macroinvertebrados acuáticos concuerdan en cuanto a la valoración de las condiciones ambientales de esta corriente. Una situación similar fue reportada por Milán y Beltrán (2004) en el río Atrato, sector La Paloma.

Barata et al. (2005) encontraron un incremento de la actividad enzimática antioxidante en el tricóptero *Hydropsyche exocellata* debido al aumento de la contaminación por metales pesados. Estos autores concluyeron que la combinación de respuestas químicas y bioquímicas de un organismo puede ser empleada para evaluar corrientes con alto grado de deterioro. Alonso (2006) determinó criterios de calidad ambiental para el nitrito y el amonio, empleando macroinvertebrados acuáticos. Los resultados indicaron que la exposición al amonio y al nitrito a largo plazo supone un riesgo ecotoxicológico para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos.

Según Valverde et al. (2009), el comportamiento de la conductividad eléctrica, turbiedad, alcalinidad total y sólidos disueltos, guardan una estrecha relación con la composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos determinados en la quebrada La Ayurá, Envigado, Antioquia.

Por su parte, los índices bióticos son una de las herramientas más comunes para caracterizar la calidad de las aguas corrientes superficiales. Se expresan por lo general en forma de un valor numérico que resume las características de todos los organismos presentes. En Gran Bretaña, Armitage et al. (1983) ordenaron las familias de macroinvertebrados acuáticos en 10 grupos siguiendo un gradiente de menor a mayor tolerancia a la contaminación. Este índice se conoce como BMWP (Biological Monitoring Working Party). Para el empleo de este índice, se asigna un puntaje a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos, donde cada familia se ubica en una escala de valores entre 1 y 10. A las familias más sensibles a la contaminación se les asigna el puntaje más alto; en contraste, las más tolerantes reciben los valores más bajos (Alba- Tercedor, 1966; Roldán, 2003).

Montoya (2008) encontró que en la quebrada Los Andes (Carmen de Viboral, Antioquia), los valores del índice BMWP (Roldán, 2003) oscilaron entre 77 y 294, con un valor promedio de 159, el cual indica buena calidad del agua. Por su parte, González (2008) registró una relación estrecha entre los resultados obtenidos del índice BMWP y las características de los macroinvertebrados acuáticos determinados en la quebrada La Ayurá en Envigado, Antioquia.

Finalmente, Arango et al. (2008) evaluaron la calidad del agua de las quebradas La Cristalina y La Risaralda en San Luis, Antioquia, a través del análisis de los aspectos físicos, químicos, microbiológicos, macroinvertebrados acuáticos y el BMWP. Estos autores concluyeron que algunos sectores de estas corrientes están sometidos a contaminación de origen doméstico y agropecuario, situación que limita sus condiciones de uso.

Teniendo en cuenta que la quebrada La Popala es la corriente que abastece de agua potable a los habitantes del corregimiento de Bolombolo, con este estudio, se evaluó de una manera espacial la calidad del agua a partir del análisis fisicoquímico, microbiológico, la composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y el índice biótico BMWP modificado para Antioquia (Roldán, 2003).

Esta investigación hace parte del proyecto "Determinación de la cuenta ambiental del agua de la Quebrada La Popala, Corregimiento de Bolombolo, Municipio de Venecia, Antioquia, proyecto compartido por algunos docentes y estudiantes del Politécnico Jaime Isaza Cadavid de Medellín a través del grupo de investigación Administración, Gobierno Público y Ambiente, AGPA, y por las Facultades de Salud Pública y de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, con la participación de los grupos de Investigación Salud y Ambiente, GISA, y de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental, GAIA, respectivamente.



2. METODOLOGIA

Ubicación de las estaciones de muestreo.

En noviembre 14 y 28 de 2009, se ubicaron cuatro estaciones de muestreo en la quebrada La Popala.

La estación 1, con coordenadas N 5° 58' 33.5" y WO 75° 49' 3.2", se localizó en el nacimiento de la quebrada a 794 m.s.n.m. En este sector, predomina un lecho conformado por hojarasca, y en parte, por grava y arena. La segunda, con coordenadas N 5° 58' 33.6" y WO 75° 49' 09" y a 743 m.s.n.m., se estableció unos 150 m aguas abajo del primer sitio. La estación 2 se caracteriza por presentar un sustrato constituido principalmente por grava y, en menor proporción, por arena y hojarasca. La tercera estación de muestreo, con coordenadas N 5° 58' 25.7" y WO 75° 49' 34.3" y a 624 m.s.n.m., tiene un sustrato constituido por rocas, grava y arena. La estación 4, con coordenadas N 5° 58' 37.3" y WO 75° 50' 22.11" y a 575 m.s.n.m., se ubicó en la zona urbana del corregimiento de Bolombolo, cerca de la desembocadura de la quebrada al río Cauca. La quebrada La Popala, en este sitio, recibe vertimientos directos de aguas residuales domésticas.

Toma de muestras fisicoquímicas y microbiológicas.

La toma y el transporte de las muestras fisicoquímicas y microbiológicas se efectuaron siguiendo las recomendaciones de APHA, AWWA, WPF (2005). En cada estación de muestreo, se midieron *in situ*: temperatura del agua, pH, CO₂, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno. Además, se tomaron muestras para el análisis de coliformes totales y fecales tanto en la quebrada como en dos localidades diferentes del área urbana del corregimiento de Bolombolo, directamente de la red de distribución de agua potable.

Toma de muestras de macroinvertebrados acuáticos.

Para la comunidad de macroinvertebrados acuáticos se realizó un muestreo cuantitativo con la red Surber, así como también, un muestreo cualitativo en la estación 4. Los macroinvertebrados acuáticos colectados se fijaron en alcohol al 70% y en recipientes plásticos rotulados, se transportaron al laboratorio de Bioensayos e Hidrobiología Sanitaria de la Universidad de Antioquia donde se determinaron y fueron contados.

Análisis de variables fisicoquímicas y microbiológicas.

En el laboratorio del grupo de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental, GAIA, de la Universidad de Antioquia, se analizaron las variables referenciadas en la tabla 1. Esta tabla muestra también las unidades y los métodos de análisis para cada variable.

VARIABLES	UNIDADES	METODO
Fisicoquímicas		
Temperatura ambiente	°C	Termometro
Temperatura del agua	°C	Termometro
Oxígeno Disuelto	mg/l	Potenciométrico
Porcentaje de saturación de oxígeno	%	Potenciométrico
CO ₂	mg/l	Titulométrico
pH	Unidades de pH	Potenciométrico
Alcalinidad total	mg/l	Titulométrico
Conductividad eléctrica	µs/cm	Potenciométrico
Turbiedad	U.N.T	Turbidímetro
Ortofosfatos	mg/l	Colorimétrico
Dureza calcica	mg/l	Titulométrico
Sólidos totales	mg/l	Gravimétrico
Sólidos disueltos	mg/l	Gravimétrico
Sólidos suspendidos	mg/l	Gravimétrico
Nitratos	mg/l	Reducción con cadmio
Nitritos	mg/l	Fortometro Nanocolor
Amonio	mg/l	Fortometro Nanocolor
Microbiológicas		
Coliformes totales	NMP	Filtración por membrana
Coliformes fecales	NMP	Filtración por membrana

Tabla 1. Variables fisicoquímicas y microbiológicas medidas en la quebrada La Popala.

Determinación de macroinvertebrados acuáticos.

La determinación y conteo de los macroinvertebrados acuáticos se realizó en el laboratorio de Bioensayos e Hidrobiología Sanitaria de la Universidad de Antioquia, mediante el empleo de un estereomicroscopio marca BOECO, modelo BM- 180/sp y las claves de McCafferty (1981), Roldán (1998), Merrit y Cummins (1996) y Fernández y Domínguez (2001).

Tratamiento de la información.

Para el análisis de las variables fisicoquímicas, se determinaron los principales estadísticos de tendencia central y dispersión. Para el análisis de los macroinvertebrados colectados en los cuatro sitios de muestreo de la quebrada La Popala, se aplicó el índice biótico BMWP modificado para Antioquia por Roldán (2003). En la publicación de Alba- Tercedor (1996), se registra el significado ambiental de este índice de acuerdo a los puntajes asignados para cada una de las familias de macroinvertebrados acuáticos. Adicionalmente, se analizó la calidad del agua de la quebrada de acuerdo con la información eco- fisiológica de los macroinvertebrados según el grado de saprobiedad del ambiente acuático.

3. RESULTADOS

En los muestreos del 14 y 28 de noviembre, la temperatura ambiente presentó los valores más altos en la cuarta estación (tabla 2), lo que está posiblemente asociado a la hora de la toma de muestras (medio día). De igual manera, la temperatura del agua fue sensible con la hora del muestreo exhibiendo valores más altos en la estación 4, siendo esta situación un fenómeno concomitante con la hora de medición (12m a 2:00p.m).

Los resultados de las variables fisicoquímicas analizadas durante el tiempo de estudio mostraron que la conductividad eléctrica, alcalinidad total, pH, turbiedad, dureza cálcica y los nutrientes asociados al nitrógeno (NO_3^- y NO_2^-) registraron poca variación entre estaciones (Tabla 2).

VARIABLES	Fecha y estaciones de muestreo							
	14 de noviembre de 2009				28 de noviembre de 2009			
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
Temperatura Ambiente (°C)	24	25	25	30	26	26	25	29.5
Temperatura del Agua (°C)	24.9	24.8	20.4	28	25.3	24.8	24.9	29.9
Oxígeno Disuelto (mg/l)	6	7.2	7.3	6.3	6.7	7.2	7.6	3.9
% de Saturación de Oxígeno (%)	90.2	89.6	95.3	106.9	71.2	90.7	92.6	59.3
CO2 (mg/l)	11	4.4	4.4	--	6.6	4.4	2.2	17.6
pH (unidades de pH).	7.7	8.2	8.2	7.9	7.5	8	7.9	7.4
Alcalinidad total (mg/l)	--	--	--	--	115	114.2	106	107.7
Conductividad eléctrica (µs/cm)	46	46	46	46	48	49	52	53
Turbiedad (UNT)	--	--	--	--	10.7	9.7	0.7	6.3
Ortofosfatos (mg/l)	1.7	1	1.9	--	1.27	1.23	0.68	2.85
Dureza Cálcica (mg/l)	--	--	--	--	10	10	10	10
Sólidos Totales (mg/l)	314	396	380	454	344	306	316	336
Sólidos Disueltos(mg/l)	304	348	294	274	302	252	254	314
Sólidos suspendidos (mg/l)	10	48	86	180	42	54	62	22
Nitratos(mg/l)	0.75	0.55	0.5	0.2	0.75	0.4	0.6	0.25
Nitritos (mg/l)	0.017	0.01	<0.005	0.015	0.02	0.011	0.01	0.04
Amonio(mg/l)	0.025	0.03	0.01	0.02	0.07	0.011	0.03	<0.001

Tabla 2. Variables fisicoquímicas medidas en las 4 estaciones de muestreo en la quebrada La Popala

En contraste, para otras variables se registraron algunos cambios espaciales (Tabla 3). Cabe resaltar que en el muestreo del 14 de noviembre, sólidos suspendidos fue la variable que presentó la mayor variación ente estaciones. Y en la toma de muestras efectuada el 28 de noviembre, la mayor variación espacial estuvo representada por el oxígeno disuelto, el dióxido de carbono y los ortofosfatos.

Muestreo	Estación	T°H ₂ O	O ₂	CO ₂	%SO ₂	Orto-fosfato	Sólidos totales	Sólidos disueltos	Sólidos suspendidos
1	1	24.9	6	11	75	1.7	314	304	10
1	2	24.8	7	4.4	89.89	1	396	348	48
1	3	20.4	7	4.4	82.32	1.9	380	294	86
1	4	28	6	---	83.17	---	454	274	180
2	1	25.3	7	6.6	84.36	1.27	344	302	42
2	2	24.8	7	4.4	89.89	1.23	306	252	54
2	3	24.9	8	2.2	95	0.68	316	254	62
2	4	29.9	4	18	53.18	2.85	336	314	22

Tabla 3. Principales variables fisicoquímicas que mostraron variación espacial en la zona de estudio

En la tabla 4, se presentan los principales valores estadísticos de algunas variables fisicoquímicas de importancia en este estudio de la quebrada La Popala. En el muestreo realizado el 28 de noviembre de 2009, el oxígeno disuelto y el porcentaje de saturación presentaron una declinación en la cuarta estación de muestreo. La disminución de este gas estuvo relacionada con un valor muy alto (17,6 mg/l) del CO₂, situación ésta que se asume como un deterioro de la calidad del agua debido a las descargas directas de aguas residuales de origen doméstico. Las variaciones relativamente altas en los valores de CO₂ (CV 12.4%), como lo indica la tabla 4, puede de alguna manera mostrar la influencia del CO₂ sobre las condiciones ambientales de la quebrada.

Tabla 4. Valores estadísticos de algunas variables fisicoquímicas de relevancia en la zona de estudio

Variables	n	Promedio	Me	S ²	S	CV%	Rango
T° H ₂ O	8	25.4	24.9	0.03	0.18	0.7	3.1
O ₂	8	6.5	7	0.03	0.16	2.5	3.7
%SO ₂	8	81.6	83.8	0.67	0.82	1	41.82
CO ₂	7	6.3	4.4	0.62	0.79	12.4	15.4
Ortofosfatos	7	1.3	1.3	0	0.03	2.4	2.17
Sólidos totales	8	355.8	340	35.44	5.95	1.7	148
Sólidos disueltos	8	292.8	298	3.94	1.98	0.7	96
Sólidos suspendidos	8	63	51	20.57	4.54	7.2	170

Acorde con el agotamiento de oxígeno disuelto y el incremento de CO₂ en la estación 4, es importante también resaltar el registro de valores altos en los sólidos totales (454 mg/l) en la toma de muestras realizada el 14 de noviembre y de los ortofosfatos (2.85 mg/l) en el muestreo de noviembre 28.

Estos resultados registrados por coliformes totales y fecales muestran valores altos desde la estación 1 hasta la 4, con lo cual se evidencia contaminación de las aguas de la quebrada La Popala en todo su recorrido. Cabe anotar que las estaciones 3 y 4 presentan niveles altos y significativamente críticos de contaminación fecal. Por su parte, los resultados de las muestras tomadas directamente de la red de distribución de agua potable indicaron que el agua que se suministra a los habitantes del corregimiento de Bolombolo, es apta para el consumo humano.

De otro lado, al determinar la calidad ambiental de los sistemas lóticos mediante la composición y estructura de los macroinvertebrados acuáticos, se puede asumir que una corriente presenta una buena calidad cuando ofrece condiciones que permiten que en su lecho, se establezcan los organismos que le son propios (Alba- Tercedor, 1996).

En la totalidad de las muestras recolectadas en la quebrada La Popala, se determinaron 30 taxa y 154 individuos, de los cuales el más bajo número se capturó en la estación 1 (Tabla 5). La escasa representación de macroinvertebrados en este sector estuvo constituida por 3 taxa y 4 individuos en el muestreo del 14 de noviembre. Por otro lado, 2 taxa y 3 individuos representan la muestra recolectada el 28 de noviembre.

La pobreza béntica en la estación 1, entre otras causas, puede estar condicionada al bajo caudal (0.5 l/s) registrado en este sitio (Zapata, 2010), dado que al presentarse caudales tan bajos, se reduce la disponibilidad de biotopos para el establecimiento de los macroinvertebrados y de la biota acuática en general. Las observaciones de campo permitieron apreciar buenas condiciones organolépticas del agua en la estación 1, no obstante, debido al bajo número de taxa y de individuos capturados, no es conveniente evaluar esta estación de muestreo desde las características de los macroinvertebrados acuáticos.

De la totalidad de los organismos capturados en los dos muestreos, 135 (87.7%) se hallaron en la estación 2. En la toma de muestras del 14 de noviembre, *Smicridea* aparece como el organismo más importante (Tabla 5), en tanto, en la campaña de campo realizada el 28 de noviembre, sobresalen *Thraulodes* con 23 individuos y *Baetodes* con 19; *Smicridea* fue el tercero en abundancia (11). *Smicridea* es un tricóptero que se asocia con una buena calidad biológica del agua. Por su parte, los efemerópteros *Thraulodes* y *Baetodes* frecuentan aguas de buena calidad a ligeramente contaminadas (Caicedo *et al.*, 2004). De acuerdo entonces con el comportamiento de los macroinvertebrados acuáticos frente al grado de saporiedad del medio, se puede concluir que la estación 2 presenta una buena calidad biológica del agua.

Es importante resaltar que, a pesar de la cercanía en cuanto a la realización de las dos campañas de campo (14 y 28 de noviembre), los resultados obtenidos en la estación 2 no muestran una homogeneidad en relación con la distribución temporal del número de individuos (Tabla 5). Dado que en ambos periodos, se registraron caudales muy similares (Zapata, 2010) y el tipo de sustrato no cambió de un muestreo a otro, no es posible explicar hasta el momento qué factores pudieron incidir

en la respuesta temporal de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos capturada en este sitio.

Vale la pena resaltar que, por esta razón y en parte por obtener una información espacio-temporal complementaria a los resultados que se exponen en este artículo, se procederá a continuar con la evaluación de las variables fisicoquímicas, microbiológicas y de macroinvertebrados acuáticos en la quebrada La Popala. Los resultados derivados de este último análisis serán publicados en su debido tiempo.

De la misma manera, en la estación 3, una baja cantidad de taxa y de individuos representan la comunidad de macroinvertebrados en este sitio. Lo anterior podría también estar condicionado a los bajos caudales que se registraron en el tercer punto de muestreo. En la tabla 5, se registra que 2 taxa y 5 individuos conforman la muestra del 14 de noviembre y 5 taxa y 7 ejemplares en la del 28 de noviembre.

Las aguas de la estación 3 presentan buenas características organolépticas de color y olor, pero debido al bajo número de organismos exhibido, no es conveniente hacer consideraciones de tipo ambiental en este sitio de muestreo.

Aunque la presencia de *Physa* en un ambiente dulceacuícola se puede relacionar con contaminación orgánica, debido al muy bajo número (1) de individuos encontrados, se puede considerar que *Physa* no es todavía un organismo influyente en la determinación de la calidad del agua de la quebrada La Popala en la estación 3.

En la estación 4, solo se realizó un muestreo cualitativo. En este sitio, se determinaron solamente el díptero *Chironomus* y el molusco *Physa*, dos organismos que frecuentan aguas con un rango ambiental entre mediana y alta contaminación, siendo *Chironomus* un indicador de contaminación orgánica más estricto que *Physa*.

Familia	Genero	Periodo de muestreo y estaciones					
		14 de Noviembre de 2009			28 de Noviembre de 2009		
		E1	E2	E3	E1	E2	E3
Baetidae	<i>Baetodes</i> sp		3			19	
Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i> sp		5			23	
Tricorythidae	<i>Tricorythodes</i> sp					3	
Leptohyphidae	<i>Leptohyphes</i> sp					2	
Coenagrionidae	<i>Argia</i> sp		2				
Libellulidae	<i>Brechmorhoga</i> sp		1			2	
Libellulidae	Sin determinar		2				
Perlidae	<i>Anacroneturia</i> sp		1			1	
Corydalidae	<i>Corydalus</i> sp		1	1		1	1
Elmidae	<i>Cyloepus</i> sp		2			4	
	<i>Heterelmis</i> sp		2			1	
Ptilodactylidae	<i>Anchytarsus</i> sp	1					
Calamoceratidae	<i>Phylloicus</i> sp					4	
Glossosomatidae	Sin determinar		1				
	<i>Mortoniella</i> sp		5			6	
Helicopsichidae	<i>Proptila</i> sp					2	
	<i>Helicopsyche</i> sp					1	
Hydropsychidae	<i>Smicridea</i> sp	2	6		2	11	3
	<i>Leptonema</i> sp		3	4		2	1
Hydroptilidae	<i>Hidroptila</i> sp		1				
Leptoceridae	<i>Atanotlica</i> sp		2			2	
Philopotamidae	<i>Chimarra</i> sp	1					
Chironomidae	Sin determinar					5	
	Sin determinar					1	
	Sin determinar					1	
Simuliidae	<i>Simulium</i> sp		2		1	2	
Tipulidae	<i>Hexatoma</i> sp		1				
Hidrobiidae	Sin determinar		1				
Physidae	<i>Physa</i> sp						1
Planariidae	<i>Girardia</i> sp		1				1
Total		4	42	5	3	93	7

Tabla 5. Macroinvertebrados acuáticos capturados en la quebrada La Popala

Por otra parte, los puntajes más altos del índice biótico BMWP se alcanzaron en la estación 2, con un valor de 88 en el muestreo realizado el 14 de noviembre y 120 en la toma de muestras efectuada el 28 de noviembre. De acuerdo con Alba- Tercedor (1996), un valor de 120 se relaciona con aguas de buena calidad ambiental.

Si bien el BMWP calculado en ambos periodos de muestreo en las estación 1 con puntajes de 23 y 14 en los muestreos del 14 y 28 de noviembre respectivamente, y en la estación 3 con puntajes de 13 en el muestreo del 14 de noviembre y de 16 en el del 28 de noviembre, indican contaminación (Alba- Tercedor, 1996), es posible inferir que los resultados tan bajos del índice BMWP se presentan como una respuesta a los bajos caudales registrados en ambos sitios. Caso contrario sucede en la estación 4 donde un valor del índice BMWP de 5.0 se asocia con aguas fuertemente contaminadas.

4. CONCLUSIONES

Las variables conductividad eléctrica, alcalinidad total, pH, turbiedad, dureza cálcica y los nutrientes asociados al nitrógeno (NO_3^- y NO_2^-) registraron una baja variación espacial. No obstante, la estabilidad de estas variables estuvo asociada a la posible homogeneidad de los sólidos disueltos en la corriente. En contraste, los sólidos suspendidos (noviembre 14) presentaron la mayor variación ente estaciones.

Con excepción de la estación 4, *Smicridea* fue el macroinvertebrado de mayor representación espacio- temporal. Este organismo se asocia con una buena calidad biológica del agua.

Los resultados de la mayoría de las variables fisicoquímicas, las características y la distribución espacial de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y los valores arrojados por el índice biótico BMWP infieren que en la estación 2, se presentan las mejores condiciones ambientales y en la 4 se exhibe un deterioro del agua. Esto último es una consecuencia del vertimiento directo de aguas residuales domésticas y de la presencia de residuos sólidos en proximidades de este sitio de muestreo.

Los resultados microbiológicos registraron contaminación por coliformes totales y fecales, con una mayor incidencia en las estaciones 3 y 4, las cuales presentan niveles altos y significativamente críticos de coliformes fecales. No obstante, es importante tener en cuenta que las muestras tomadas en el casco urbano de la red de distribución de agua potable indican que el agua suministrada a través del acueducto a los habitantes del corregimiento de Bolombolo es apta para el consumo humano.



AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a profesores y estudiantes y, en general, a todo el grupo de trabajo participante en el proyecto "Determinación de la cuenta ambiental del agua de la Quebrada La Popala, Corregimiento de Bolombolo, Municipio de Venecia, Antioquia", a la alcaldía de Venecia, al Politécnico Jaime Isaza Cadavid de Medellín, a la Facultad de Salud Pública y al grupo de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental, GAIA, de la Universidad de Antioquia, al Administrador de Empresas Agropecuarias y Tecnólogo Agropecuario José Ignacio Martínez, director de la UMATA del municipio de Venecia, por el acompañamiento y la gestión en la realización de esta investigación y a los Técnicos Agropecuarios Carlos Arboleda y Oscar Vanegas por el acompañamiento en las campañas de campo.

BIBLIOGRAFIA

- Alba- Tercedor, J., 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio del agua en Andalucía (SIAGA). Almería. Vol. II: p 203- 213.
- Alonso, A., 2006. Valoración del efecto de de la degradación ambiental sobre los macroinvertebrados bénticos en la cabecera del río Henares, Vol. XV, Nº 2, p. 1- 5.

- APHA- AWWA- WPCF, 2005. Standard Methods for examination of water and wastewater, Amer. Pub. Health Assoc. Washington, D.C.
- Arango, M. C., Álvarez, I. F., Arango, G. A., 2008. Calidad del agua de las quebradas La Cristalina y La Risaralda. Revista EIA. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Julio, N° 9: 121- 141.
- Arcos, P., Ávila de Navia, S., Estupiñán, S., 2005. Indicadores microbiológicos de contaminación. NOVA. Publicación científica. Vol. 3. N° 4.
- Armitage, P. D., Moss, D., Wright, J. F., 1983. The performance of a new biological water quality score system based of macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running water sites. Water Research 17: 333- 347.
- Barata, C., Lekumberri, I., Vila-Escalé, M., Prat, N. y otros. 2005. Trace metal concentration, antioxidant enzyme activities and susceptibility to oxidative stress in the tricoptera larvae *Hydropsyche exocellata* from the Llobregat river basin (NE Spain). Aquat.Toxicol. 74: 3- 19.
- Caicedo, O. y Palacio, J., 1998. Los macroinvertebrados bénticos y la contaminación orgánica en la quebrada La Mosca (Guarne, Antioquia, Colombia). Actual. Biol. 20 (69): 61- 73.
- Caicedo, O., Palacio, J., y Aguirre, N., 2004. Macroinvertebrados acuáticos. En: Aguirre, N., Palacio, J. y Wills, A. (Eds.). Caracterización de los principales aspectos fisicobióticos de la microcuenca de la quebrada La Vega, municipio de San Roque, Antioquia. Medellín. Universidad de Antioquia, p. 84- 98.
- Fernández, H. y Domínguez, E., 2001. Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos. Universidad Nacional de Tucumán. 289 p.
- González, V., 2008. Evaluación de calidad del agua de la quebrada La Ayurá mediante la aplicación de índices de calidad, ICAs, e índices bióticos. Tesis de grado Ingeniería Sanitaria. Medellín: Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 61 p.
- Gutiérrez, J., Riss, W. y Ospina, R., 2004. Bioindicación de la calidad del agua con macroinvertebrados acuáticos en la sabana de Bogotá, utilizando redes neurales artificiales. Caldasia. 26 (1):151- 160.
- Machado, C., Rodríguez, M. y Betancur, J., 2004. Microbiota acuática. En: Aguirre, N., Palacio, J. y Wills, A. (Eds.). Caracterización de los principales aspectos fisicobióticos de la microcuenca de la quebrada La Vega, municipio de San Roque, Antioquia. Medellín. Universidad de Antioquia, p. 84- 98.
- Mason, C.F., 1984. Biología de la contaminación del agua dulce. En: Pinilla, G.A., 1998. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia. Universidad Jorge Tadeo Lozano.67 p.
- Mc Cafferty, W. P., 1981. Aquatic Entomology. Jones and Bartlett Publisher. Boston. U.S.A.
- Merrit, R. y Cummins, K., 1996. An introduction to the aquatic insects of North America. 2 ed. Kendall/Hund Publishing Company.
- Milán, W. y Beltrán, R., 2004. Evaluación de la calidad del agua del río Atrato sector La Paloma, a partir de variables fisicoquímicas, climáticas, bacteriológicas, hidrológicas y biológicas. Trabajo de grado. Facultad de ciencias Básicas. Universidad Tecnológica del Chocó.
- Montoya, J., 2008. Caracterización de la biodiversidad acuática y calidad de las aguas de la quebrada Los Andes, El Carmen de Viboral, Antioquia. Revista Universidad Tecnológica del Chocó. 27(1): 85- 91.
- Municipio de Venecia, 1999. Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT).
- Pinilla, G. A., 1998. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia. Edit. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá.
- Posada, J. A., Roldán, G. y Ramírez, J. J., 2000. Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad de aguas de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. Revista Biol. Trop. 48 (1): 59- 70.
- Prat, N., 1998. Bioindicadores de calidad de aguas. En: manuscritos curso Bioindicadores de calidad de aguas. Universidad de Antioquia, Medellín.
- Roldán, G., 1998. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Universidad de Antioquia. FEN Colciencias. Edit. Presencia. Bogotá.



- Roldán, G., 1999. Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Rev. Acad. Col. Cienc.* 23 (88): 375- 387.
- Roldán, G., 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín.
- Rosenberg, D. y Resh, V., 1993. *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. New York: Chapman & Hall, 488 p.
- Shimizu, G. A., 1998. Metodos de amostragem de macroinvertebrados bentónicos, em especial para monitoramento biológico. En: manuscritos curso Bioindicadores de calidad de aguas. Universidad de Antioquia, Medellín.
- Valverde, N., Caicedo, O. y Aguirre, N., 2009. Análisis de calidad de agua de la quebrada La Ayurá, con base en variables fisicoquímicas y macroinvertebrados acuáticos. *Revista Producción + Limpia*. Vol. 4. Nº 1: 40- 60.
- Zapata, L. F., 2010. Diagnóstico del estado del sistema de abastecimiento de agua potable del corregimiento de Bolombolo, Antioquia. Trabajo de grado. Ingeniería Civil. Universidad de Antioquia.

