

Bioindicación de la calidad del agua en corrientes altoandinas. Aplicación de los índices de monitoreo biológico BMWP'/Col y BMWP'/Cu

Bioindication of the water quality in currents of the high Andes. Application of the BMWP'/Col and BMWP'/Cu biologic monitoring indexes

GUSTAVO GIRALDO QUINTERO

Licenciado en Biología, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Profesor de la Facultad de Ciencias y Educación, Proyecto Curricular de Licenciatura en Biología de la misma Universidad. Investigador del área fauna y ecología de la Línea de Investigación Biodiversidad de Alta Montaña adscrita al Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad Distrital Franciaco José de Caldas.

ggq28@hotmail.com

Clasificación del artículo: Investigación.

Fecha de aceptación: junio 30 de 2004

Fecha de recepción: abril 15 de 2004.

Palabras clave: macroinvertebrados acuáticos, ecosistema lótico, bioindicadores, monitoreo biológico
Key words: aquatic macroinvertebrates, lotic ecosystem, bioindicators, biological monitoring

RESUMEN

El presente artículo realiza una comparación entre dos índices para el monitoreo biológico (BMWP'/Col establecido para Colombia y BMWP'/Cu para el departamento de Cundinamarca), los cuales tienen en cuenta los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad ecológica del agua, mediante la evaluación del estado trófico y el nivel de saprobiedad del ecosistema acuático, los cuales requieren la determinación de algunos parámetros fisicoquímicos.

Los resultados mostraron la correlación directa que existe entre los dos sistemas (químico y biológico) para determinar la calidad del agua. Con la medición del BMWP'/Col y el BMWP'/Cu se obtuvieron puntajes altos (83-153 y 77-147, respectivamente); ellos determinaron que la calidad del agua oscilara en el rango de aceptable a muy buena. Lo anterior fue confirmado por las elevadas concentraciones de oxígeno disuelto (entre 6,45 y 7,98 mg/l), el cual es el parámetro químico más importante porque permite el adecuado desarrollo de la biota en el medio acuático.

ABSTRACT

This paper makes a comparison between two biological monitoring working party biotic indexes (BMWP'/Col established for Colombia and BMWP'/Cu for Cundinamarca) which take into account the aquatic macroinvertebrates as water ecological quality bioindicators by means of the assessment of the trophic condition and the saprobiety of the aquatic ecosystem level which require the determination of some physical and chemical parameters.

The results obtained showed the direct correlation between these two systems (biological and chemical) to determine the water quality. With the BMWP'/Col and BMWP'/Cu measurement high scores were obtained (83-153 and 77-147 respectively), they determined that the water quality will oscillate between acceptable and very good. These results were confirmed due to the very high concentrations of dissolved oxygen (between 6.45 and 7.98mg/l) which is the most important chemical parameter because it permits the adequate development of the biota in the aquatic environment.

1. Introducción

En los últimos años, la aplicación del índice de monitoreo biológico BMWP¹ se ha convertido en un método de evaluación de la calidad ecológica y ambiental de las aguas rápido, eficaz y económico, frente a unos métodos tradicionales que se han caracterizado por ser de elevado costo, impidiendo que la determinación de la calidad del agua se haga en forma práctica.

El BMWP¹ no pretende ser el remplazo de los análisis fisicoquímicos que se adelantan a las corrientes naturales o a los sistemas de tratamiento de aguas residuales, pero sí puede ser una herramienta útil para evaluaciones preliminares que conduzcan a diagnósticos primarios y permitan determinar las metodologías requeridas posteriormente, de acuerdo con el grado de análisis al que se quiera llegar.

Se trata de un método de evaluación que puede realizarse *in situ* y no requiere equipos especializados; solamente es necesario un moderado grado de preparación en el conocimiento (morfológico, ecológico y taxonómico) de los individuos, que se utilizan como bioindicadores de la calidad ambiental del agua de cualquier ecosistema lótico (quebrada o río). Por lo general se emplean los macroinvertebrados, entre ellos las larvas de insectos acuáticos. Debido a sus ciclos de vida prolongados dentro del cuerpo de agua, ellos se convierten en buenos bioindicadores de la calidad ecológica de los ecosistemas acuáticos; muchos de ellos toleran estrechos rangos de contaminación producida por impactos cortos o largos sobre el medio.

2. Marco referencial y conceptos básicos

Los macroinvertebrados acuáticos han sido ampliamente usados como bioindicadores de la calidad del agua; entre sus diversas ventajas, debido a que sus poblaciones son afectadas por los cambios naturales ocurridos en los ríos, y por los cambios físicos y químicos introducidos por el hombre, derivados de sus diversas actividades que impactan el medio ambiente (Zamora-Muñoz & Alba-Tercedor, 1996, 332).

Aplicado ampliamente en el Reino Unido, en 1988 el índice biológico BMWP¹ fue introducido a la península Ibérica bajo el nombre de BMWP¹ por Alba-Tercedor y Sánchez Ortega, debido a su fácil aplicación y utilización; asimismo, fue adoptado por la Sociedad Española de Limnología en 1991 para llevar a cabo evaluaciones de calidad de agua en ríos españoles (Zamora-Muñoz & Alba-Tercedor, 1996, 332).

¹ Por sus siglas en inglés, *Biological Monitoring Working Party*.

El BMWP¹ es un método de puntuación simple utilizado con todos los grupos de macroinvertebrados identificados taxonómicamente, hasta el nivel de familia; sólo requiere datos cualitativos (ausencia/ presencia). El puntaje obtenido en un sitio de muestreo se obtiene mediante la suma individual de todos los puntajes de las familias de macroinvertebrados presentes. Los puntajes individuales de cada familia reflejan el grado de tolerancia a la contaminación, basados en los conocimientos básicos de distribución y abundancia de los organismos. Las familias sensibles a la contaminación poseen puntajes elevados (máximo = 10), mientras que las familias de organismos tolerantes a diferentes grados de contaminación poseen puntajes bajos (mínimo = 1) (Armitage et al., 1983, 340).

Las metodologías de estudio y seguimiento de la calidad de las aguas están basadas en análisis fisicoquímicos, casi en su totalidad. El incremento de nuevos productos contaminantes, así como el hecho de que los vertidos son generalmente puntuales en el tiempo, han hecho que las técnicas que utilizan macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad demuestren su total eficacia en la detección de puntos de alteración en la calidad de las aguas. Su bajo costo de utilización, rapidez de su aplicación y fiabilidad los convierten en métodos idóneos para la vigilancia de las cuencas hidrográficas (Alba-Tercedor, 1996, 203).

El término *macroinvertebrado acuático* hace referencia a aquellos animales invertebrados que, por su tamaño relativamente grande, son retenidos por redes que tienen un ojo de malla de entre 250-300 µm. La mayoría de ellos (casi el 80%) corresponde al grupo de los artrópodos; dentro de ellos los insectos, en especial sus formas larvianas, son los más abundantes (Alba-Tercedor, 1996, 204).

La preferencia por el estudio con macroinvertebrados acuáticos se debe a su tamaño relativamente grande, facilidad de muestreo y amplia distribución; todo esto define una gama casi infinita de tolerancia a diferentes parámetros de contaminación. Además, luego de una perturbación estos organismos necesitan un tiempo mínimo de recolonización, próximo al mes o a veces mayor; por tanto, los efectos del disturbio pueden detectarse varias semanas e incluso meses después de que éste se haya producido (Alba-Tercedor, 1996, 205).

3. Bioindicación y calidad del agua en Colombia

El conocimiento de los macroinvertebrados acuáticos en el trópico americano aún es escaso e incompleto; en Colombia se tiene un conocimiento tan incipiente sobre este tema, que se hace necesario realizar una ardua labor de profundización en el conocimiento de la fauna y flora acuática propia (Rol-

dán, 1997, 1). No obstante, el uso de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua tiene cada vez mayor aceptación entre los ecólogos, y es uno de los métodos usados para evaluación de los impactos ambientales en corrientes, causados por la construcción de obras de ingeniería (carreteras, represas, entre otras); asimismo, los macroinvertebrados acuáticos constituyen el método más valioso para determinar los impactos causados por los desechos domésticos e industriales en ríos y quebradas que cruzan entre los pueblos y ciudades (Roldán, 1995, 203).

La directiva marco COM-97, del Parlamento Europeo, ha aceptado el término *estado ecológico* como una medida de calidad de las aguas. Para desarrollar este concepto, como unidad de estudio se propuso la cuenca hidrográfica; además, para la determinación del estado ecológico de los ecosistemas acuáticos se deben estudiar, como factores esenciales, las comunidades de organismos que los habitan. Sobre esta base fue propuesto el estudio del estado ecológico de las cuencas de los Andes colombianos, utilizando los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua (Roldán, 2000, 8).

El BMWP' se estableció en Inglaterra en 1970; con base en el conocimiento nacional acerca de los macroinvertebrados acuáticos hasta el nivel de familia, se propone utilizar el método BMWP'/Col como una primera aproximación para evaluar los ecosistemas acuáticos de montaña. Roldán, en 1988, 1992, 1997 y 1999, y Zúñiga de Cardozo en 1997, fueron los primeros que adoptaron y utilizaron este método para algunas cuencas del Valle del Cauca y Antioquia (Roldán, 2000, 9).

El presente artículo presenta la primera aplicación del índice BMWP'/Col para evaluar la calidad de agua de ecosistemas acuáticos altoandinos del oriente de Cundinamarca. También se aplicó por primera vez el índice biológico BMWP'/Cu, propuesto por Bohórquez & Ardila en 1997, quienes han trabajado la bioindicación de corrientes acuáticas en afluentes del río Bogotá (Giraldo & Forero, 2002, 46).

4. Metodología de investigación

• *Delimitación geográfica.* La investigación se adelantó en la quebrada El Empalizado, de la vereda Marilandia en el municipio de Chipaque; en ella se ubicaron tres estaciones de trabajo, con la ayuda de un altímetro Tomen Classic, así: a) nacimiento, a 3.200 msnm²: es una área afectada por cultivos de papa y ganadería en menor escala; b) curso medio, a 2.960 msnm: allí también confluyen las aguas de la quebrada Los Reyes; c) tramo final: allí la quebrada analizada se une con la quebrada Chinará y da origen al río Uracé o

Guacamayas, a 2.790 msnm. En cada una de las estaciones mencionadas se realizaron seis muestreos, con frecuencia mensual.

• *Determinación de parámetros químicos.* En cada estación se tomó una muestra compuesta de agua, por medio de una botella con capacidad de un litro; ésta se guardó en una botella de icopor y se trasladó en el menor tiempo posible al laboratorio de análisis de aguas³, y empleando el equipo Hach Drel se analizaron los siguientes parámetros químicos: nitratos NO₃, nitritos NO₂, amonio NH₄, dureza total, fosfatos PO₄, y demanda de oxígeno a los cinco días DBO₅. *In situ*, mediante el método de la botella de Winkler, se determinó la concentración de oxígeno disuelto en el agua.

• *Recolección y procesamiento de muestras biológicas.* En cada estación de trabajo fueron tomadas muestras cualitativas de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos. En forma manual fueron recogidos piedras, palos, rocas, hojas y sustratos similares; los organismos encontrados en ellos se colectaron uno a uno, con pinza de punta fina o pincel para evitar el daño de sus estructuras; luego se depositaron en frascos que contenían alcohol al 70%, para fijar las muestras en campo. Todo el procedimiento se realizó aproximadamente en una hora, procurando recolectar en este tiempo el mayor número de individuos, de la mayoría de sitios posibles. Además, empleando la red de mano se atraparon organismos que habitaban el fondo del cauce de la quebrada, una vez éste se removía en contracorriente empleando manos o pies. Los organismos fijados también se transportaron al laboratorio de análisis de aguas; empleando microscopios y estereoscopios eléctricos, marcas Nikkon y Olympus, y mediante la utilización de claves taxonómicas especializadas (como las de Roldán, 1988; Needham & Needham, 1982; Ospina & Muñoz, 1999; Merrit y Cummins, 1996), ellos fueron identificados al nivel de familia.

El material biológico identificado se preservó en alcohol al 96% y glicerina, se limpió, separó, rotuló e incluyó dentro de una colección de macroinvertebrados acuáticos⁴. Cada familia encontrada en el muestreo fue calificada de acuerdo con los puntajes de índice BMWP'/Col, empleado por Roldán, y el índice de BMWP'/Cu, empleado por Bohórquez, de acuerdo con las siguientes tablas:

² Metros sobre el nivel del mar.

³ Localizado en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Bogotá (Colombia).

⁴ La colección pertenece a la línea de investigación "Biodiversidad de alta montaña", de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Tabla 1. Puntuaciones asignadas a las familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del BMWP'/Col, de acuerdo con la metodología de Roldán

Familias	Puntuación
Perlidae, Oligoneuridae, Helicopscichidae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Lampiridae, Odontoceridae, Blepharoceridae, Pcephenidae, Hidridae, Chordodidae, Limnessiidae, polithoridae, Gonphidae	10
Leptoflebiidae, Euthyploceiidae, Leptoceridae, Xiphocentronidae, Dyticidae, Polycentropodidae, Hydrobiocidae, Gyrinidae	9
Veliidae, Gerridae, Phylopotamidae, Simulidae, Pleidae, Trichodactilidae, Saldidae, Lestidae, Pseudothelpusidae, Ebridae, Hidrobiidae	8
Baetidae, Calopterygidae, Glossosomatidae, Corixidae, Notonectidae, Leptohiphidae, Dixidae, Hialeidae, Naucoridae, Scirtidae, Driopidae, Psichodidae, Coenagrionidae, Planaridae, Hydroptylidae, Caenidae	7
Ancylidae, Lutrochidae, Aeshnidae, Libelulidae, Elmidae, Staphilinidae, Limnynchidae, Neritidae, Pilidae, Megapodagrionidae, Coridalidae.	6
Hydropsychidae, Gelastocoridae, Belostomatidae, Nepidae, Pleuroceridae, Tabanidae, Thiaridae, Pyralidae, Planorbidae	5
Crysmelidae, Mesobelidae, Stratiomidae, Empididae, Dolichopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae	4
Hirudinea, Phicidae, Hydrometridae, Hydrophilidae, Tipulidae, Ceratopogonidae	3
Culicidae, Muscidae, Chironomidae	2
Tubiphicidae	1

Tabla 2. Puntuaciones asignadas a las familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del BMWP'/Cu, de acuerdo con la metodología de Bohórquez

Familias	Puntuación
Perlidae, Oligoneuridae, Helicopscichidae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Lampiridae, Odontoceridae, Pcephenidae, Hidridae, Chordodidae, Limnessiidae, polithoridae, Gonphidae, Leptoceridae, Leptoflebiidae	10
Blepharoceridae, Euthyploceiidae, Xiphocentronidae, Dyticidae, Polycentropodidae, Hydrobiocidae, Gyrinidae, Policentropodidae	9
Veliidae, Gerridae, Phylopotamidae, Pleidae, Trichodactilidae, Saldidae, Lestidae, Pseudothelpusidae, Ebridae, Hidrobiidae	8
Calopterygidae, Glossosomatidae, Corixidae, Notonectidae, Leptohiphidae, Dixidae, Naucoridae, Simulidae, Driopidae, Psichodidae, Caenidae	7
Ancylidae, Lutrochidae, Hydroptilidae, Libelulidae, Staphilinidae, Limnynchidae, Neritidae, Pilidae, Megapodagrionidae, Coridalidae, Coenagrionidae, Hyalelidae	6
Hydropsychidae, Gelastocoridae, Belostomatidae, Nepidae, Pleuroceridae, Tabanidae, Thiaridae, Pyralidae, Elmidae, Planorbidae, Aeshnidae, Dugesidae.	5
Crysmelidae, Mesobelidae, Stratiomidae, Dolichopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Ceratopogonidae, Baetidae, Tipulidae, Aleurodidae	4
Hirudinea, Phicidae, Hydrometridae, Hydrophilidae, Empididae, Cyrtidae	3

Los resultados obtenidos se compararon e interpretaron (véase tabla 3), para determinar la calificación del estado de la calidad del agua de la quebrada El Empalizado.

Los valores individuales de los puntajes para las familias de organismos reflejan su tolerancia a la contaminación basados en conocimientos básicos de distribución y abundancia. Las familias no tolerantes a la contaminación tienen altos puntajes, mientras que las familias tolerantes poseen puntajes bajos (Zamora-Muñoz & Alba-Tercedor, 1996, 334).

5. Resultados

Los valores promedio obtenidos de los parámetros químicos analizados en el estudio para determinar el

Tabla 3. Clases de calidad de agua, según puntajes obtenidos del índice biológico BMWP'/Col y BMWP'/Cu

Clase	Calidad	Valor	Significado
I	Buena	<ul style="list-style-type: none"> > a 150 101 - 120 	<ul style="list-style-type: none"> Aguas muy limpias Aguas no contaminadas o alteradas de modo sensible
II	Aceptable	61 - 100	Son evidentes algunos efectos de contaminación
III	Dudosa	36 - 60	Aguas contaminadas
IV	Crítica	16 - 35	Aguas muy contaminadas
V	Muy crítica	< a 15	Aguas fuertemente contaminadas

estado trófico y el nivel de saprobiedad del sistema acuático se consignan en las tablas 5 y 6. La selección de parámetros se realizó empleando como punto de referencia el estudio limnológico realizado por Ardila y Tovar (2000) en el río Subachoque.

En las tablas 6, 7 y 8 se resumen los puntajes obtenidos por las familias de macroinvertebrados acuáticos encontradas en cada una de las estaciones de muestreo analizadas, con base en los indicadores BMWP'/Col y BMWP'/Cu.

Tabla 4. Calidad del agua de la quebrada El Empalizado de acuerdo con su saprobiedad

Parámetro	Concentración	Calidad		Est-1	Est-2	Est-3
Oxígeno	>8 mg/l	Oligosaprobio	I			
	>8 mg/l	Oligosaprobio - β mesosaprobio	I-II			
	>6 mg/l	β mesosaprobio	II	6,45	7,86	7,98
	>4 mg/l	α β mesosaprobio	II-III			
	>2 mg/l	α mesosaprobio	III			
	<2 mg/l	α mesosaprobio - polisaprobio	III-IV			
DBO ₅	<2 mg/l	polisaprobio	IV			
	1 mg/l	Oligosaprobio	I	0,19	0,19	0,19
	1-2 mg/l	Oligosaprobio - β mesosaprobio	I-II			
	2-6 mg/l	β mesosaprobio	II			
	5-10 mg/l	α β mesosaprobio	II-III			
	7-13 mg/l	α mesosaprobio	III			
	10-15 mg/l	α mesosaprobio - polisaprobio	III-IV			
	>20 mg/l	Polisaprobio	IV			
Amonio	Trazas	Oligosaprobio	I	0,07	0,06	0,03
	Alrededor de 0,13 mg/l	Oligosaprobio - β mesosaprobio	I-II			
	<0,38 mg-l	β mesosaprobio	II			
	>0,64 mg-l	α β mesosaprobio	II-III			
	>0,64 mg	α mesosaprobio	III			
	>0,64 mg	α mesosaprobio - polisaprobio	III-IV			
	>0,64 mg	Polisaprobio	IV			

Tabla 5. Calidad del agua de la quebrada El Empalizado de acuerdo con su estado trófico

Parámetro	Concentración	Calidad	Est-1	Est-2	Est-3
Dureza total (mg/l)	<10	Oligotrofia	0,33	0,48	0,33
	10 - 25	Mesotrofia			
	>25	Eutrofia			
Amonio mg/l	0-0,3	Oligotrofia	0,07	0,06	0,03
	0.3-2	Mesotrofia			
	2-15	Eutrofia			
Nitrito mg/l	0-1	Oligotrofia	0,64	0,62	0,66
	1-5	Mesotrofia			
	5-50	Eutrofia			
Nitrito mg/l	0-0,5	Oligotrofia	0	0	0
	0,5-5	Mesotrofia			
	5-15	Eutrofia			
Fosfato mg/l	<0,01	Oligotrofia		0	0
	0,02-0,03	Mesotrofia			
	>0,03	Eutrofia	0,04		

Tabla 6. Medición de indicadores BMWP'/Col y BMWP'/Cu para las familias de macroinvertebrados encontradas en la estación 1 de la quebrada El Empalizado

Familias estacion 1	BMWP/Col	BMWP/Cu
Baetidae	7	4
Hyalelidae	7	6
Scirtidae	7	3
Ptilodactylidae	10	10
Hydrophilidae	3	3
Elmidae	6	5
Chironomidae	2	2
Dolichopodidae	4	4
Empididae	4	3
Ceratopogonidae	3	4
Simulidae	8	7
Hydrobiosidae	9	9
Leptoceridae	9	10
Glossophoniidae	3	3
Alleurodidae	1	4
TOTAL	83	77

6. Análisis de resultados

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 5, la quebrada El Empalizado es un ecosistema acuático altoandino que, de acuerdo con el estado de saprobiedad y el contenido de oxígeno disuelto, en sus tres estaciones se clasifica como de clase II, o betamesosaprobias, dado que este parámetro se encuentra por encima de los 6 mg/l. Esto indica que posee cierta cantidad de materia orgánica, pero en concentraciones mínimas; lo anterior es corroborado

Tabla 7. Medición de Indicadores BMWP'/Col y BMWP'/Cu para las familias de macroinvertebrados encontradas en la estación 2 en la quebrada El Empalizado

Familias Estación 2	BMWP' /Col	BMWP' /Cu
Baetidae	7	4
Leptophlebiidae	9	10
Leptohyphidae	7	7
Psephenidae	10	10
Blepharoceridae	10	9
Chironomidae	2	2
Simuliidae	8	7
Hydrobiosidae	9	9
Leptoceridae	9	10
Dixidae	7	7
Tipulidae	3	4
Anomalopsychidae	9	9
Helicopsychidae	10	10
Glossosomatidae	7	7
Hydropsychidae	5	5
Calamoceratidae	10	10
Hydroptilidae	7	6
Perlidae	10	10
Coenegrionidae	7	6
Dugesidae	7	5
TOTAL	153	147

Tabla 8. Medición de indicadores BMWP'/Col y BMWP'/Cu para las familias de macroinvertebrados encontradas en la estación 3 de la quebrada El Empalizado

Familias Estación 3	BMWP' /Col	BMWP' /Cu
Baetidae	7	4
Leptophlebiidae	9	10
Leptohyphidae	7	7
Psephenidae	10	10
Blepharoceridae	10	9
Chironomidae	2	2
Simuliidae	8	7
Xiphocentronidae	9	9
Leptoceridae	9	10
Dixidae	7	7
Helicopsychidae	10	10
Glossosomatidae	7	7
Hydropsychidae	5	5
Calamoceratidae	10	10
Aeshnidae	6	5
Perlidae	10	10
Coenegrionidae	7	6
Dugesidae	7	5
TOTAL	140	133

por el bajo registro de DBO₅ y amonio, que ubica a esta quebrada como de clase I, u oligosaprobia.

Este comportamiento es el esperado en un ecosistema con bajo impacto antrópico. Sin embargo la estación 1, ubicada en la parte alta, presenta el valor más alto de amonio y el más bajo de oxígeno disuelto, debido a la actividad agrícola y de pastoreo, que no sólo está impactando las aguas de la quebrada sino el paisaje en general, originando crecientes áreas de potreros y vertimiento a las aguas de los desechos agrícolas, producto de los fertilizantes y nutrientes que son utilizados para abonar los cultivos, en especial de papa y cebolla.

En la parte baja, debido al movimiento del agua y al propio sistema de depuración de cualquier río o quebrada en zonas en las cuales la pendiente causa un movimiento mayor del agua, la quebrada ha diluido los contaminantes de la parte alta; esto se hace evidente al observar una mayor concentración de oxígeno disuelto (superior a 7 mg/l) y una menor concentración de amonio.

Algo similar ocurre cuando se analiza el estado trófico del ecosistema. De acuerdo con la tabla 6, las bajas concentraciones de iones causantes de la dureza total y la baja concentración de nitrógeno encontrado como amonio, nitritos y nitratos, hacen que el agua de la quebrada El Empalizado pueda calificarse como oligotrófica. Solamente los fosfatos, aguas arriba, presentaron una concentración suficiente para clasificar el ecosistema como eutrófico. Este comportamiento se debe a la escorrentía que genera la actividad agrícola que impacta la zona; no obstante, sus concentraciones menores permiten al ecosistema, aguas abajo, procesos de autodepuración que bajan las concentraciones del fósforo, como ion fosfato, a niveles de cero.

Comparando los análisis de los parámetros químicos observados con los organismos encontrados, se hace evidente la correlación directa de los dos sistemas (químico y biológico) para determinar la calidad del agua; el indicador BMWP'/Col obtuvo una medición de 83 y el BMWP'/Cu 77, ambos para la estación 1; los resultados corroboran lo descrito en los análisis químicos, y permiten afirmar que en este punto el ecosistema posee aguas de clase II, de calidad aceptable, presentando ligera contaminación; una vez más, este fenómeno es explicado por el impacto antrópico en la zona.

Considerando los dos sistemas de clasificación biológica, las estaciones 2 y 3 se ubican como aguas de clase I, presentando aguas muy limpias y de buena calidad, con mediciones de 153 y 140, respectivamente, para el BMWP'/Col, y de 147 y 133 para el BMWP'/Cu. En estos puntos el ecosistema se ha depurado, permitiendo dilución de contaminantes, y la proliferación y dominancia

de familias de macroinvertebrados sensibles a la contaminación, los cuales aumentan la calificación, permiten el crecimiento de la diversidad y hacen que pueda inferirse que la calidad del agua aumenta a medida que el ecosistema se libera de su carga contaminante.

Las pequeñas diferencias observadas entre los dos sistemas biológicos empleados se deben a regionalidades y a la carencia de mayor conocimiento acerca el tema. Sin embargo, el BMWP'/Col y el BMWP'/Cu se complementaron bien, sin registrarse diferencias significativas entre sus mediciones; por tanto, coincidieron en la descripción del ecosistema acuático estudiado.

Concluido el estudio se identifica la necesidad de profundizar en el conocimiento de los indicadores biológicos, dada la carencia de investigaciones que los validen estadísticamente; ésta es la razón por la cual Pinilla (2000) afirma que este sistema de bioindicación debe utilizarse con precaución, en tanto se desarrollen estudios específicos sobre la capacidad real de estos organismos para evaluar diferentes condiciones en los ecosistemas acuáticos.

7. Conclusiones

Los parámetros químicos y físicos de un ecosistema acuático susceptible de investigación permiten llegar a conclusiones precisas y puntuales, y señalan las causas que producen contaminación o alteraciones en el medio; sin embargo, requieren equipos y procesos complejos para llevarse a cabo.

Los métodos para la determinación de la calidad del agua con bioindicadores como los macroinvertebrados acuáticos son una de las mejores herramientas para la realización de análisis rápidos, económicos y acertados acerca de los impactos producidos (naturales o antrópicos) sobre el ecosistema. Teniendo en cuenta que el estudio de las microcuenas es un trabajo complejo, y que los sistemas fisicoquímicos y biológicos que permiten detectar contaminación en el agua se complementan, resulta conveniente desarrollarlos paralelamente en este tipo de investigaciones.

El BMWP'/Col y el BMWP'/Cu son indicadores propuestos y aplicados en regiones del país bastante diferenciadas (Antioquia y Cundinamarca, respectivamente); sin embargo fueron muy acertados para la clasificación de las aguas de la quebrada El Empalizado. Pero a pesar de los buenos resultados, es necesario llevar a cabo un mayor número de investigaciones en corrientes hídricas empleando bioindicadores de polución, con el fin de que a mediano plazo el país desarrolle y valide un sistema tal que permita utilizar a los macroinvertebrados acuáticos

como sensores ambientales y se detecten focos de contaminación a tiempo, de tal forma que las alteraciones puedan tratarse con el menor costo posible.

Referencias bibliográficas

- [1] ALBA-TERCEDOR, J. (1996). *Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos*. IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA), Ed. Almería, Vol. II, 203-213.
- [2] ARDILA, E. & TOVAR, P. (2000). *Caracterización fisicoquímica y macroinvertebrados acuáticos del río Subachoque en dos estaciones de muestreo*. Bogotá, Colombia, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- [3] ARMITAGE, P., MOSS, J., WRIGHT, F. & FURSE, M. (1983). The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites". En: *Water research*, 17, 333-347.
- [4] BOHÓRQUEZ, A. & ARDILA, J. (1997). "Monitoreo limnológico con macroinvertebrados en cuatro estaciones localizadas en los ríos Barandillas y Frío". En: *Diógenes* 4.
- [5] GIRALDO, G. & FORERO, E. (2002). *Caracterización de los hábitat y de las comunidades de macroinvertebrados asociadas a la quebrada El Empalizado en la vereda Marilandia, municipio de Chipaque, Cundinamarca*. Bogotá, Colombia, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 242 pp.
- [6] MERRIT, R & CUMMINS, K. (1984). *An introduction to the Aquatic Insects of North America*. Iowa, USA, Kendall/Hunt Publishing Company.
- [7] NEEDHAM, J & NEEDHAM, P. (1982). *Guía para el estudio de los seres vivos de las aguas dulces*. Traducción adaptada para España y América, 131 pp.
- [8] OSPINA, R, & MUÑOZ, D. (1999). "Guía para la identificación genérica de los Ephemeroptera de la Sabana de Bogotá, Colombia. Ninfas y algunos géneros de adultos, En: *Actualidades Biológicas* 21 (70), 47-60.
- [9] PINILLA, G. (2000). *Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia. Compilación bibliográfica*. Bogotá, D.C., Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 67 pp.
- [10] ROLDÁN, G. (1988). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia*. Bogotá, Colombia, Fondo FEN – Colciencias – Universidad de Antioquia, 217 pp.
- [11] _____. (1995). "Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua". En: *Memorias Seminario de invertebrados acuáticos y su utilización en estudios ambientales*. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, 211 pp.
- [12] _____. (1997). "Los Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua en Colombia: estado actual y perspectivas". En: *Memorias Seminario internacional macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad del agua*. Cali, Colombia, Universidad del Valle.
- [13] _____. (2000). "Los macroinvertebrados acuáticos y su uso como bioindicadores de la calidad de agua. Resúmenes IV Seminario Nacional de Limnología, un nuevo punto de partida". Bogotá, Colombia, Pontificia Universidad Javeriana.
- [14] ZAMORA-MUÑOZ, C. & ALBA-TERCEDOR, J. (1996). "Bioassessment of organically polluted Spanish rivers, using a biotic index and multivariate methods". En: *N. Am. Benthol. Soc.* 15 (3), 332-352.