

Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP

en la quebrada La Ayurá, Antioquia, Colombia

Application of water quality indices NSF, DINIUS and BMWP

to Ayurá Creek, Antioquia, Colombia

Recibido para evaluación: 10 de Octubre de 2012

Aceptación: 19 de Febrero de 2013

Recibido versión final: 1 de Marzo de 2013

Viky González Meléndez¹

Orlando Caicedo Quintero²

Nestor Aguirre Ramírez³

RESUMEN

En esta investigación se evaluó la calidad de agua de la quebrada La Ayurá (Envigado-Antioquia, Colombia), mediante la aplicación de los índices de Calidad de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF), Dinius y el índice biótico BMWP/Col. La estimación de estos índices se efectuó con información recolectada en tres sitios durante tres muestreos. Se determinaron variables fisicoquímicas y microbiológicas, además se realizaron muestreos cualitativos y cuantitativos de macroinvertebrados acuáticos. El empleo de esta metodología permitió conocer el estado fisicoquímico y de la comunidad biológica en los diferentes sitios. Los resultados fisicoquímicos, microbiológicos, de macroinvertebrados acuáticos y de los índices mostraron que en la estación 1 se presenta una buena calidad del agua y en las estaciones 2 y 3 un deterioro medio de la calidad del agua.

Palabras claves: Quebrada la Ayurá, Calidad del agua, Índices de calidad, Índices bióticos, oxígeno disuelto, macroinvertebrados acuáticos.

ABSTRACT

This investigation evaluates the quality of water in the creek The Ayurá (municipality of Envigado, Antioquia, Colombia), through application of the National Sanitation Foundation (NSF) and Dinius quality indexes, and the biotic index BMWP/Col. The estimate of these indexes was conducted with data collected in three sites and three moments. Physicochemical and microbiological variables were determinate; we also performed a qualitative and quantitative sampling of aquatic macroinvertebrates. Using this methodology the behaviour of physical-chemical and biological community in the different sites were studied. The physicochemical and aquatic macroinvertebrate indexes results showed that site 1 provides a good quality of water and the sites 2 and 3 a middle deteriorated water quality.

Key words: Creek the Ayurá, Quality of water, Quality indices, biotic Index, Dissolved oxygen, Aquatic macroinvertebrate.

1. INTRODUCCIÓN

La quebrada La Ayurá nace en el cerro El Astillero en límites de los municipios de El Retiro y Envigado (Antioquia) a 2880 m.s.n.m. y desemboca en el río Medellín. Su cuenca ocupa un área de 40,8 km², con una longitud de 11,6 km en sentido norte-sur y un perímetro de 29,75 km; se clasifica como una quebrada de orden seis. La cuenca tiene una precipitación media anual de 1876 mm (Instituto Mi Rio 1996) y un ciclo anual bimodal de precipitación, con dos épocas secas y dos de lluvias

1. Ingeniera sanitaria. Universidad de Antioquia

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.

altas. La temperatura presenta variaciones con promedios de 16°C para la parte alta y de 22°C para la baja. Sobre la cuenca de la quebrada confluyen las corrientes La Miel, El Salado, La Sebastiana, La Ahuyamera, Espíritu Santo y la Mina.

La valoración de la calidad del agua evalúa su naturaleza física, química y biológica en relación con sus usos posibles (Prat 1998, citado por Torres et al. 2009). El deterioro de las aguas naturales en Colombia está asociado con el vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales, de producción agrícola y ganadera, y con acciones relacionadas con el transporte terrestre, fluvial y marítimo de sustancias peligrosas. Una de las maneras de evaluar el deterioro de las aguas superficiales es mediante el empleo de índices de calidad del agua (ICAs) e índices bióticos. Para Fernández et al. (2008) un índice de calidad del agua es una expresión simple de una combinación de un número de variables fisicoquímicas y microbiológicas. El índice puede ser representado por un número, un rango, un símbolo o un color.

Por su parte, Prat (2008) define un índice biótico como aquel que establece la calidad biológica del agua expresado en forma de un valor numérico que sintetiza las características de las especies presentes en una muestra. Según Arango et al. (2008) en la evaluación de la calidad biológica del agua se consideran, como criterios que definen un ecosistema sano, aquellos que se relacionan con un alto nivel de diversidad, habitabilidad y productividad.

Los índices que miden la contaminación y que poseen como herramienta de empleo variables fisicoquímicas, tienen a su favor que la información resultante puede ser más fácilmente interpretada que una lista de valores numéricos, pues estos agrupan los elementos contaminantes más representativos como instrumento para determinar el deterioro de las aguas superficiales (León 1992).

Dinius (1972) planteó un ICA conformado por nueve variables fisicoquímicas y dos microbiológicas; por su parte, el ICA-INSF está constituido por ocho variables fisicoquímicas y un elemento biótico: las coliformes fecales. Aunque la estimación en ambos índices está orientada al empleo del agua para consumo humano, el de Dinius tiene en cuenta otros usos, como son agricultura, pesca, industria y recreación. De la revisión bibliográfica sobre indicadores de calidad y contaminación efectuada por Simboni Ruiz et al. (2007) se resalta que el NSF es el índice más empleado en la valoración de la calidad de las aguas superficiales para consumo humano a nivel mundial. Hay que considerar que los índices NFS y el de Dinius se pueden adaptar y modificar de acuerdo con las condiciones prevalecientes en nuestro medio o de cada sistema acuático en particular.

Jiménez & Vélez (2007) caracterizaron las aguas superficiales de la cuenca de la quebrada Doña María, un efluente del río Medellín en Antioquia, Colombia, a partir de la estimación del Índice NFS mediante la información suministrada en 110 puntos de muestreo distribuidos a lo largo de la cuenca. Zhen-Wu (2010) aplicó este mismo índice con el objeto de establecer la calidad del agua en 15 sitios diferentes de la quebrada Victoria, en Costa Rica. Por su parte, Guzmán (1997) basó sus cálculos en el índice de Dinius y lo aplicó para el análisis de algunas de las aguas superficiales de los estados de Jalisco y Méjico. Este índice propuesto por Guzmán (1997) está constituido por variables fisicoquímicas y su relación con la calidad de agua se fundamenta en el nivel de saprobiedad de las fuentes analizadas.

Por otra parte, los índices bióticos permiten describir las diferentes situaciones ambientales y presentan una información precisa sobre la calidad biológica del agua (Salusso & Moraña 2002). El índice de los saprobios fue la base para la formulación del índice biótico BMWP (Biological Monitoring Working Party). Alba-Tercedor & Jiménez Millán (1987) adaptaron este índice para la Península Ibérica. Fernández et al. (2008) lo aplicaron en sistemas acuáticos alterados por actividades agrícolas, ganaderas y tala del bosque. De igual manera, Baptista et al. (2006) analizaron el impacto de la deforestación sobre las aguas naturales a partir de los resultados derivados del índice BMWP.

En Colombia se han realizado estudios en donde el índice BMWP se ha modificado y adaptado teniendo en cuenta el tipo de macroinvertebrados acuáticos establecidos en algunas regiones de este país. Entre estos se destacan los de Zúñiga de Cardozo et al. (1997) en la cuenca del río Cauca (Valle del Cauca) y Roldán (2003) en el departamento de Antioquia. En este Departamento se han realizado investigaciones relativamente recientes acerca del empleo del índice BMWP y su relación con la calidad biológica del agua, como las de Montoya (2008) en la quebrada Los Andes en Carmen de Viboral, Arango et al. (2008) en las quebradas La Cristalina y La Risaralda en San Luis, y Milán (2010) en la quebrada La Popala (Bolombolo, Venecia).

En un estudio efectuado por la CVC & la Universidad del Valle (2004) en el río Cauca y ocho de sus tributarios, se calcularon los índices de Dinius, NSF y el BMWP como herramientas para caracterizar las aguas superficiales de estas corrientes dado que, en su mayoría, son fuente de abastecimiento para las diferentes actividades socio-económicas de la zona de estudio. Los tributarios del río Cauca incluidos en este estudio se consideran receptores de aguas de origen doméstico, industrial y agropecuario.

En la quebrada La Ayurá, objeto del presente estudio se aplicaron los índices de calidad de Dinius, NSF y el índice biótico BMWP/Col como una medida para evaluar las aguas superficiales, considerando que en parte del tramo estudiado se presentan descargas de aguas residuales. Es de resaltar que los índices de NFS y el de Dinius incluyen para su aplicación la mayoría de las variables tenidas en cuenta en esta investigación. Por su parte, el índice BMWP/Col representa gran parte de las familias de macroinvertebrados acuáticos determinadas en este estudio. En esta quebrada se han realizado algunas investigaciones como la de Aguirre et al. (2008), quienes evaluaron el agua a través de las algas epilíticas y los protozoos de vida libre, y la de Valverde et al. (2009) quienes analizaron la calidad del agua a partir del comportamiento de algunas variables fisicoquímicas y de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos.

2. METODOLOGIA

En los meses de noviembre de 2007, enero y febrero de 2008 se caracterizó el agua superficial de la quebrada La Ayurá a través del muestreo en tres estaciones ubicadas en la parte alta, media y baja.

2.1. Estaciones de muestreo.

La estación 1 se estableció aguas arriba del Ecoparque El Salado (N 06°07,568'0 y W 75°33.778'0) a 1875 m.s.n.m. Este sitio se caracteriza por ser un lugar de recreación abierta. La 2 se ubicó en las inmediaciones del barrio Rosellón (N 06°09,397'0 y W 75°34,780'0) a 1678 m.s.n.m. La quebrada en este sector recibe vertimientos de aguas residuales de los barrios que se encuentran asentados aguas arriba, modificando de esta manera las características organolépticas del agua. La estación 3 se localizó en el barrio los Sauces (N 06°10,812'0 y W 75°34,876'0) a 1523 m.s.n.m. El uso del suelo en inmediaciones del sitio de muestreo es de tipo residencial. Durante las campañas de campo se observaron vertimientos directos de aguas residuales domésticas muy cerca al sitio de muestreo.

2.2. Obtención y transporte de muestras.

La obtención y transporte de muestras se realizó teniendo en cuenta las recomendaciones del APHA-AWWA (2005). En cada una de las estaciones se midieron *in situ*: pH, temperatura del agua, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y porcentaje de saturación de oxígeno. Adicionalmente, se tomaron muestras de agua de 500 ml para la medición de otras variables fisicoquímicas, y 500 ml para el análisis de coliformes fecales y totales. Las mediciones fisicoquímicas y microbiológicas se realizaron en el laboratorio de Hidrobiología Sanitaria de la Universidad de Antioquia, siguiendo los protocolos referenciados en la tabla 1.

Variables	Unidad	Fundamento
Temperatura del agua	° C	Termómetro
Color verdadero	Unidades de Color	Colorímetro
Turbiedad	Unidades Nefelométricas	Turbídimétrico
Sólidos totales	mg/l S.T	Gravimétrico
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l DBO	APHA-AWWA
% de saturación	%	Oxímetro
Oxígeno disuelto	mg/l O ₂	Oxímetro
pH	Unidades de pH	pHmetro

Tabla 1. Variables fisicoquímicas, microbiológicas y métodos de análisis.

Variables	Unidad	Fundamento
Conductividad eléctrica	µs/ cm	Conductímetro
Dureza total	mg/l de CaCO ₃	Titulométrico
Alcalinidad total	mg/l de CaCO ₃	Titulométrico
Nitratos	mg/l de NO ₃ ⁻	Colorimétrico
Fosfatos	mg /l PO ₄ ⁻³	Colorimétrico ácido ascórbico
Cloruros	m/l Cl ⁻	Argentométrico
Coliformes totales	NMP/100ml	Tubos múltiples
Coliformes fecales	NMP/100ml	Tubos múltiples

2.3. Muestreo y determinación de macroinvertebrados acuáticos

Por su parte, las comunidades de macroinvertebrados acuáticos se muestrearon mediante el empleo de la red Surber, obteniendo material en las dos márgenes y el centro de la corriente, con réplicas. También se capturaron los invertebrados adheridos a piedras ubicadas en los alrededores de cada estación. Los organismos recolectados se fijaron en recipientes de polipropileno con alcohol al 70%, etiquetado según la fecha de muestreo y estación.

La determinación de estos organismos hasta el nivel de familia se realizó en el laboratorio de Hidrobiología Sanitaria de la Universidad de Antioquia, mediante el empleo de estereomicroscopios tipo BOECO- Germany y Zeiss. Para la ubicación taxonómica hasta la categoría de familia se consultaron los trabajos de Mc Cafferty (1981), Roldán (1988), Merrit y Cummins (1996) y Fernández y Domínguez, (2001).

2.4. Análisis de la información

Para la interpretación de los datos fisicoquímicos y microbiológicos se emplearon el índice de calidad de la Fundación Nacional de Saneamiento -INSF(1978) y el de calidad de aguas de Dinius (1972). A estos índices se les asignan pesos ponderados para cada una de las variables en que se basan (Fernández y Solano 2005). El promedio aritmético determina el valor de cada índice.

El índice NSF (1978) se fundamenta en la ecuación:

$$INSF = \sum_{i=1}^9 SI_i * Wi$$

donde, SI es el subíndice de la variable i, y Wi es el peso ponderado del subíndice i. Las curvas para la determinación del valor subíndice (Sli) se registran en Fernández y Solano (2005) y en NSF International: Consumer (2004). Esta fórmula se emplea teniendo en cuenta la agregación del producto ponderado para evitar valores cero de algún subíndice (Ott 1978).

El índice de calidad de Dinius (1972) se determina como:

$$I = \sum_{i=1}^{11} W_i * I_i$$

donde I_i es el subíndice de la variable y Wi es el peso ponderado para el subíndice i. En la tabla 2 se muestran los pesos ponderados asignados a cada variable en los índices NSF (1978) y de Dinius (1972).

Para la aplicación del índice BMWP/Col se determinaron los macroinvertebrados acuáticos hasta el nivel de familia. A cada familia se le asigna una puntuación que oscila entre 1.0 y 10 de

acuerdo con el grado de sensibilidad o tolerancia a la contaminación. Las familias representadas con valores más altos se relacionan con una buena calidad biológica del agua. Los puntajes asignados para cada una de las familias y su correspondiente significado ambiental se encuentran en Roldán (2003).

Variable	Valor Wi- NSF-(1978)	Valor Wi- Dinius (1972)
Oxígeno disuelto (%)	0,17	5,0
Coliformes totales	-	3,0
Coliformes fecales	0,15	4,0
pH	0,12	1,0
Demanda bioquímica de oxígeno	0,10	2,0
Nitratos	0,10	-
Fosfatos	0,10	-
Temperatura	0,10	2,0
Turbiedad	0,08	-
Sólidos totales	0,08	-
Conductividad eléctrica	-	1,0
Color	-	1,0
Dureza	-	1,0
Cloruros	-	0,5
Alcalinidad total	-	0,5

Tabla 2. Pesos ponderados para cada variable según los índices NSF (1978) y de Dinius (1972) (tomado de Fernández & Solano 2005)

En la tabla 3 se muestran los rangos de calidad y colores establecidos para los índices de calidad del agua de Dinius(1972) y el NSF(1978), y el índice biótico BMWP/Col(2003). Con la aplicación de estos tres índices se pretende interpretar y relacionar de una manera coherente los resultados de calidad teniendo en cuenta los valores establecidos para cada uno de estos índices.

Un coeficiente de variación mayor al 30%, se relaciona con una alta variabilidad de los datos. Es de precisar que los valores de los coeficientes de variación se calcularon para el total de los datos, dado que solo fueron muestreadas tres estaciones durante tres muestreos.

Índice de Dinius (1972)		INSF (1978)		BMWP (Roldán 2003)		Color
Calidad	Rango	Calidad	Rango	Calidad	Rango	
Excelente	91-100	Excelente	91-100	Buena	>150 101-120	■
Buena	81-90	Buena	71-90	Aceptable	61-100	■
Regular	51-80	Regular	51-70	Dudosa	36-60	■
Mala	41-50	Mala	26-50	Critica	16-35	■
Muy mala	0-40	Muy mala	0-25	Muy Critica	<15	■

Tabla 3. Clases de calidad, rango y colores representativos para los índices de Dinius (1972), NSF(1978) y BMWP(Roldán 2003)

3. RESULTADOS

Los resultados fisicoquímicos indicaron que las variables de mayor variación espacio-temporal en el tramo estudiado de la quebrada La Ayurá fueron en su orden, turbiedad, color verdadero, fosfatos, nitratos, cloruros, alcalinidad total, sólidos totales y conductividad eléctrica, en los cuales, los coeficientes de variación fueron superiores al 30%, lo cual indica una alta variación de los datos (Tabla 4). Este criterio se basa en que las variables fisicoquímicas de una corriente pueden cambiar como consecuencia de la variabilidad del reoambiente, especialmente aquellas asociadas a los sólidos disueltos en el agua. Es importante resaltar aquí que estas últimas variables no tienen una

alta significancia en relación con el valor de los pesos asignados en los índices de Dinius y NSF, como se presenta en la tabla 2.

El color, al cual se le asigna un valor de peso ponderado de 1.0 en el índice de calidad de agua de Dinius, presentó un valor mínimo de 9.0 U.C en la estación 2 del muestreo de enero de 2008 y un máximo de 276.0 UC para la estación 3 del mismo muestreo (Tabla 4). Un valor alto de color (230.0 UC) en la estación 2, en noviembre de 2007, se puede relacionar con la descarga de sólidos provenientes de obras civiles ubicadas en proximidades del sitio de muestreo, situación que también pudo influir en los valores de turbiedad.

Variables fisicoquímicas E1		Noviembre de 2007			Enero de 2008			Febrero de 2008			CV%
		E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3		
Temperatura	°C	17,5	19,2	20,4	18,0	18,0	21,0	17,4	22,9	21,65	10,17
Oxígeno disuelto	mg/l	7,20	6,90	5,75	8,30	8,15	7,50	6,40	6,80	6,05	12,57
% saturación	(%)	90,5	95,0	76,0	104,0	101,5	98,0	84,0	82,5	82,5	10,78
pH	Un. pH	7,12	7,83	7,46	7,33	7,47	7,56	7,41	7,55	7,45	2,55
Conductividad eléctrica	µs/cm	21,1	45,0	67,4	21,2	46,7	76,8	17,9	39,3	68,85	49,99
Alcalinidad total	mg/l	12,0	21,8	25,8	30,0	20,0	70,00	20,00	40,00	80,00	67,05
Dureza total	mg/l	20,0	22,0	24,0	8,90	17,7	26,7	26,7	26,7	26,7	27,00
Sólidos totales	mg/l	--	--	--	14,1	30,7	54,7	34,0	64,0	98,0	60,45
Color verdadero	UC	19,0	230,0	66,0	24,0	60,0	276,0	10,0	9,0	10,0	130,35
Turbiedad	UNT	1,33	11,1	8,21	1,00	4,00	10,0	7,99	4,88	71,2	165,41
Nitratos	mg/l	0,30	1,10	1,30	0,10	0,60	1,40	0,02	0,03	0,08	103,64
Fosfatos	mg/l	0,01	0,08	0,14	0,25	0,64	0,80	0,49	1,91	2,68	118,18
Cloruros	Mg/l	4,20	6,30	5,20	0,00	1,40	4,50	0,50	1,10	6,90	78,44
Coliformes totales	NMP/100 ml	1,60E+05	1,60E+05	9,20E+04	9,20E+04	1,60E+05	1,60E+06	9,20E+04	1,60E+05	1,60E+05	7,27
Coliformes fecales	NMP/100 ml	9,30E+02	1,70E+04	2,80E+04	1,30E+03	1,60E+05	1,60E+06	1,70E+03	1,60E+05	1,60E+05	25,57

La conductividad eléctrica con un valor de peso ponderado de 1.0 en el índice de Dinius, registró los valores máximos en la estación 3 en enero de 2008 con 76,85 µs/cm y en febrero de 2008, con 68,85 µs/cm. El nivel alcanzado en febrero de 2008 está estrechamente asociado con los valores de turbiedad hallados en esta misma estación con un máximo de 71,20 UNC, lo que hace suponer que la lectura de la conductividad eléctrica en febrero de 2008 en la estación 3 pudo verse afectada por la alta presencia de sólidos totales (98,0 mg/l), variable esta que representa el valor más bajo (0.08) de los pesos ponderados asignados en el índice NSF. Los valores de las correlaciones se pueden encontrar en Fernández y Solano (2005).

En los resultados de este estudio (Tabla 4) no se observó en la mayoría de los casos, una marcada tendencia espacial decreciente para el oxígeno disuelto y su correspondiente porcentaje de saturación, donde inclusive en el muestreo de febrero de 2008 en la estación 2 se registró un ligero incremento de oxígeno disuelto en comparación con la estación 1. En este muestreo el porcentaje de saturación de oxígeno presentó valores del 84,0 % en la estación 1 y de 82,5 % en las estaciones 2 y 3. Lo anterior es coherente con los valores bajos de variación del oxígeno disuelto.

Por lo tanto, se puede inferir que para el caso de la quebrada La Ayurá, en los sitios donde se tomaron las muestras, el oxígeno disuelto y su porcentaje de saturación no fueron variables altamente representativas en la definición de la calidad del agua de la quebrada; por consiguiente, se puede

Tabla 4. Variables fisicoquímicas medidas en las tres estaciones en la quebrada La Ayurá

estimar que los niveles relativamente altos de estas variables registrados en las estaciones 2 y 3 pueden ser el resultado de las condiciones hidráulicas del cauce, el cual de acuerdo a sus características morfológicas permite una buena oxigenación del agua.

Un caso similar a este, acerca del comportamiento del porcentaje de saturación de oxígeno fue descrito por Jiménez y Vélez (2007) en la quebrada Doña María, la cual recibe aportes de aguas residuales en el sitio donde confluye con el río Medellín. Estos autores consideran que los niveles altos de oxígeno disuelto en la parte baja de esta quebrada Doña María son inducidos por la geomorfología del cauce y las distintas obras de dissipación de energía construidas en su recorrido, hechos que inducen un incremento del oxígeno disuelto aguas abajo de la corriente.

Los resultados del índice NSF (1978) indican que en la quebrada La Ayurá en la estación 1 se presenta una buena calidad del agua y una regular calidad en las estaciones 2 y 3 (Tabla 5). A pesar que los valores del índice de INF representan un agua de calidad regular para las estaciones 2 y 3, en todos los muestreos los niveles registrados en la estación 3 son menores a los hallados en la 2.

Los resultados espaciales registrados en el índice de calidad de agua de Dinius (1972) se encuentran dentro del rango de 51-80, el cual corresponde a un agua de calidad regular (Tabla 5). Este índice se encuentra muy influenciado por los valores de coliformes totales y fecales a los cuales se les asigna un valor alto de peso ponderado de 3.0 y 4.0 respectivamente. Los niveles más altos de este índice se presentaron en todos los casos en la estación 1 y los menores en la 3.

Fecha de muestreo	Estación	NSF	Calidad	Color	Dinius	Calidad	Color
Noviembre de 2007	1	72,99	Buena	█	65,38	Regular	█
	2	67,99	Regular	█	60,16		█
	3	64,93	Regular	█	55,44		█
Enero de 2008	1	73,54	Buena	█	65,73		█
	2	67,01	Regular	█	64,13		█
	3	63,55	Regular	█	58,92		█
Febrero de 2008	1	68,53	Regular	█	65,55	Regular	█
	2	60,92	Regular	█	58,86		█
	3	54,85	Regular	█	57,13		█

Tabla 5. Resultados INSF (1978) índice de calidad del agua de Dinius (1972) para la quebrada La Ayurá

Por su parte, en la tabla 6 se presentan las familias de macroinvertebrados acuáticos determinados en tiempo y espacio en la quebrada La Ayurá. De un total de 30 familias identificadas, el mayor número se registró en la estación 1 (18) en el muestreo realizado en enero de 2008, valor que representa un 60% de la totalidad de la muestra. El más bajo (9), número que equivale a un 30% se encontró en el tercer sitio, en las campañas efectuadas en enero y febrero de 2008.

Familia	Periodos de Muestreo y Estaciones								
	Noviembre 2007			Enero 2008			Febrero 2008		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
Planariidae	X	X		X	X		X	X	
Tubificidae		X	X	X	X	X			X
Physidae		X	X		X			X	X
Planorbidae									X
Hydrobiidae						X			
Sphaeriidae						X			
Baetidae	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabla 6. Familia de macroinvertebrados acuáticos determinados en la quebrada La Ayurá durante el tiempo de estudio.

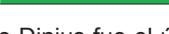
Familia	Periodos de Muestreo y Estaciones								
	Noviembre 2007			Enero 2008			Febrero 2008		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
Leptophlebiidae							X		
Leptohyphidae	X			X	X	X			
Tricorythidae	X			X				X	
Libellulidae		X	X	X	X	X		X	X
Gomphidae							X		X
Calopterygidae						X			
Naucoridae	X				X			X	
Corydalidae					X				
Elmidae	X			X	X		X	X	
Hydrophilidae							X	X	
Ptilodactylidae	X			X				X	
Glossosomatidae	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Helicopsychidae	X			X		X			
Leptoceridae	X			X	X			X	
Hydroptilidae							X		
Calamoceratidae					X		X	X	
Hydropsychidae	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Odontoceridae	X						X		
Tipulidae		X	X		X		X		
Psychodidae		X	X						
Chironomidae	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Simuliidae	X	X		X	X		X	X	
Tabanidae	X				X				

En la quebrada La Ayurá se determinaron familias que representan los valores más altos en el índice biótico BMWP como: Gomphidae, Ptilodactylidae, Calamoceratidae y Odontoceridae, a las cuales se les asigna el máximo valor (10) en el índice, y Leptophlebiidae e Hydrobiidae con un valor de 9.0.

Los resultados arrojados por el índice BMWP/Col (Tabla 7) indican que en la estación 1, en los muestreos de enero y febrero de 2008, se presentó una buena calidad del agua. El valor de 94 puntos registrado para esta estación en noviembre de 2007 se relaciona con un agua de calidad aceptable, donde son evidentes algunos efectos de contaminación. No obstante, este valor de 94 no está muy lejano al rango inferior establecido para un agua de buena calidad (101-120).

Tabla 7. Resultados BMWP/Col para la quebrada La Ayurá.

Muestreo	Estación	BMWP (Roldán,2003)		Color
		Valor	Clasificación	
Noviembre 2007	E1	94	Aceptable	
	E2	50	Dudosa	
	E3	66	Aceptable	
Enero 2008	E1	109	Buena	
	E2	77	Aceptable	
	E3	83	Aceptable	

Muestreo	Estación	BMWP (Roldán,2003)		Color
		Valor	Clasificación	
Febrero 2008	E1	138	Buena	
	E2	94	Aceptable	
	E3	65	Aceptable	

De los tres índices analizados en este estudio, el de calidad de agua de Dinius fue el único que no presentó variabilidad espacial ni temporal en sus resultados, y se representó en el sistema de drenaje de la quebrada La Ayurá con un color amarillo. Este color es igualmente representativo para el INSF en todos los muestreos realizados en las estaciones 2 y 3 y en la toma de muestras efectuada en la estación 1 en febrero de 2008. Con excepción del muestreo realizado en la estación 2 en noviembre de 2007 (calidad dudosa), en todos los demás momentos los resultados del índice BMWP indican aguas de aceptable y buena calidad.

4. CONCLUSION

Con base en los resultados arrojados por los tres índices analizados en esta investigación, se encontró que en la quebrada La Ayurá en la estación uno se presentó una buena calidad del agua. Aunque las estaciones dos y tres registraron deterioro como consecuencia de la actividad antrópica existente en inmediaciones de estos sitios de muestreo, aun se presentan condiciones que permiten el desarrollo de la vida acuática.

Agradecimientos

Los autores de esta investigación agradecen al Grupo de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental- GAIA de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, al Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Antioquia y al Comité Central de Investigaciones CODI por el apoyo financiero para la realización de esta investigación. También, al estudiante de pregrado del programa de Ingeniería Sanitaria Miguel Torrejón, a la ingeniera Verónica Arana, y a los ingenieros Jamer Quiceno, Andrés Restrepo y Andrés Cano, por el apoyo en los muestreos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, D., Aguirre, N. & Caicedo, O. 2008, 'Evaluación de la calidad del agua a través de los protistas en la quebrada La Ayurá en Envigado (Antioquia)', *Revista Producción más Limpia*, vol. 3, no. 1, pp. 50-60.
- Arango, M. C., Álvarez, I. F., Arango, G. A., Torres, O. E. & Monsalve, A. J., 2008, 'Calidad del agua de las quebradas La Cristalina y La Risaralda', *Revista EIA Escuela de Ingeniería de Antioquia*, no. 9, pp. 121-141.
- Alba-Tercedor, J. & Jiménez-Millán, F., 1987, *Evaluación de las variaciones estacionales de la calidad de las aguas del río Guadalejo, basada en el estudio de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos*. Monografía, ICONA-LUCDEME III.
- Baptista, D. F., Buss, D. F., Egler, M., Giovanelli, A., Silveira, M. P. & Nessimian, J. L., 2006, 'A multimetric index base don benthic macroinvertebrates for evaluation of Atlantic Forest Streams at Rio de Janeiro State, Brazil', *Hydrobiologia*, no. 575, pp. 83-94.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) & Universidad del Valle 2004, *Estudio de la calidad del agua del río Cauca y sus principales tributarios mediante la aplicación de índices de calidad y la contaminación tramo Salvajina-la Virginia*. Convenio Interadministrativo 0168 de Noviembre 27 de 2002.
- Dinius, S. H. 1972, 'Social accounting system for evaluating water resources', *Water Resources Research*, vol. 8, pp. 1159-1177.

- Domínguez, E. & Fernández, H. R., 2001, *Macroinvertebrados bentónicos suramericanos*. Publicaciones especiales. Fundación Miguel Lillo. San Miguel de Tucumán. Argentina.
- Fernandez, H. R. & Dominguez, E., 2001, *Guía para determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos*. Universidad Nacional de Tucumán.
- Fernández, N. & Solano, F., 2005, Índices de calidad y de contaminación del agua, Universidad de Pamplona.
- Fernández N., Ramírez, A. & Solano, F., 2008, 'Índices fisicoquímicos de calidad del agua. Un estudio comparativo', *Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la vida y el desarrollo sostenible*, Universidad del Valle/Instituto Cinara, pp. 211-219.
- Gracam, A. S. & Coimbra, C. N., 1998, 'The elaboration of indices to assess biological water quality. A case study', *Water Research*. vol. 32, no. 2, pp. 380-392.
- Guzmán, M 1997, *Las aguas superficiales –Diagnóstico–*. Universidad de Guadalajara.
- INSTITUTO MI RÍO 1996, *Plan de Ordenamiento y Manejo Integral de la cuenca de la quebrada La Ayurá, Municipio de Envigado*. Medellín.
- Jiménez, M. A. & Vélez, M. V., 2007, 'Análisis comparativo de indicadores de la calidad del agua superficial', *Revista Avances en recursos hidráulicos*, vol. 14, pp. 53-69.
- León, L. F., 1992, 'Índices de calidad del agua (ICA), forma de estimarlos y aplicación en la cuenca Lerma-Chapala', *Memorias del VII congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, Cocoyoc, Morelia, pp. 20-26.
- McCafferty, W. P., 1981, *Aquatic Entomology*, Jones and Bartlett Publisher, Boston.
- Merrit, R. W. & Cummis, K. W., 1996, *An Introduction to the aquatic insects of North America*. 2 edn. Kendall/ Hund Publishing Company.
- Milán, W., 2010, *Evaluación de la calidad de agua de la quebrada La Popala (Venecia, Antioquia, Colombia) a través de variables fisicoquímicas, microbiológicas y macroinvertebrados acuáticos*, Monografía. Universidad de Antioquia.
- 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*, vol. 27, no. 1, pp. 85-91.
- NSF International: Consumer 2004. Disponible en: <<http://www.nsf.org/consumer>>
- Ott, W., 1978, *Environmental indices, theory and practice*, AA science, Ann Arbor, Michigan.
- Rojas, O., 1991, 'Índices de Calidad del agua en fuentes de captación', *Seminario Internacional sobre calidad del agua de consumo humano*, Cali.
- Roldán, G., 1988, *Guía para el estudio de macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia*, Editorial Presencia, Bogotá.
- Roldán, G., 2003, *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col. Medellín*, Editorial Universidad de Antioquia.
- Salusso, M. M. & Moraña, L. B., 2002, 'Comparación de índices bióticos utilizados en el monitoreo de dos sistemas lóticos del noreste argentino', *Revista de Biología Tropical*, vol. 50, pp. 327-336.
- Simboni Ruiz, N., Carvajal, Y. & Escobar, J., 2007, 'Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua' *Ingeniería e Investigación Universidad Nacional de Colombia*, vol. 27, no. 3, pp. 172-181.
- American Public Health Association (APHA) & American Water Works Association (AWWA) 2005, *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 21st edn. Washington
- Torres, P., Cruz, C. H. & Patiño, P. J., 2009, 'Índices de calidad de aguas en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica', *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 8, no. 15, pp. 79-94.

Valverde, N., Caicedo, O. & Aguirre, N., 2009, 'Análisis de la calidad de agua de la quebrada La Ayurá con base en variables fisicoquímica y de macroinvertebrados acuáticos', *Revista Producción más Limpia*, vol. 4, no. 1, pp. 44-57.

Zhen-Wu, Y., 2010, 'Índices de calidad del agua en la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacate, Costa Rica (2007-2008)', *Cuadernos de Investigación UNED*, vol. 21, no. 1, pp. 45-61.

Zúñiga de Cardoso, M. C., Rojas, A. M. & Mosquera, S., 1997, 'Indicadores ambientales de calidad de agua en la cuenca del río Cauca', *Bioindicadores Ambientales de la calidad del agua*, Universidad del Valle, Cali.

