



Análisis de calidad de agua de la quebrada La Ayurá con base en variables fisicoquímicas y macroinvertebrados acuáticos

Nubia Lucia Valverde Legarda¹ / Orlando Caicedo Quintero² / Néstor Jaime Aguirre Ramirez³

Quality analysis of water from the ayurá creek, based on physical and chemical variables and aquatic macro invertebrates

Análise de qualidade de água do riacho a ayurá com base em variáveis físico-químicas e macroinvertebrados aquáticos

RESUMEN

Introducción. El análisis de variables fisicoquímicas y el empleo de macroinvertebrados como testigos de la calidad del agua son métodos complementarios en los procesos de evaluación de las condiciones ambientales. Las razones de la utilización de estos organismos como indicadores se fundamentan principalmente en sus ciclos de vida más prolongados en comparación con otros organismos acuáticos inferiores, y poca movilidad. A través del empleo de las variables fisicoquímicas, macroinvertebrados acuáticos e índices de calidad, se pretende prevenir la contaminación de los recursos hídricos, orientado hacia la búsqueda de estrategias de producción más limpia con el fin de reducir los impactos ambientales en estos ecoambientes.

Objetivo. Determinar la calidad del agua de la quebrada La Ayurá a través del análisis de variables fisicoquímicas y la comunidad de macroinvertebrados acuáticos.

Materiales y métodos. En noviembre de 2007, enero y febrero de 2008, se muestreó en tres estaciones ubicadas en la parte alta, media y baja de la quebrada. En cada estación se midieron variables fisicoquímicas y se tomaron muestras de macroinvertebrados acuáticos con la red Surber.

¹ Ingeniera Sanitaria, Candidata a M.Sc. en Ingeniería de la Universidad de Antioquia. ² Biólogo. Profesor Facultad de Ingeniería. Escuela Ambiental. Universidad de Antioquia. ³ Ph.D en Ciencias Naturales. Profesor Facultad de Ingeniería. Escuela Ambiental. Universidad de Antioquia.

Resultados. En total se contaron 1655 organismos distribuidos en 59 taxones, de los cuales sobresalieron por su abundancia *Leptonema*, Haplotaxida y *Baetodes*. El comportamiento espacial de la conductividad eléctrica, turbiedad, alcalinidad total y sólidos disueltos guarda una estrecha relación con las características eco- fisiológicas de los macroinvertebrados acuáticos.

Conclusión. En la estación 1 se presentó una buena calidad del agua y en las estaciones 2 y 3 de buena a mediana calidad, pero evidenciando un mayor deterioro en la 3 como consecuencia del aporte de las descargas de aguas residuales vertidas a la quebrada y a la presencia de residuos sólidos en proximidades de las estaciones de muestreo.

Palabras clave: Calidad del agua, variables físico-químicas, macroinvertebrados acuáticos, índices de diversidad.

ABSTRACT

Introduction. The analysis of physical and chemical variables and the use of macro invertebrates as witnesses of the quality of water are complementary methods in the evaluation processes for environmental conditions. The reason for the use of these micro organisms as indicators is based mainly on their life cycles, which are longer than those of other aquatic inferior organisms. Besides, macro invertebrates present lower mobility levels. The idea is, by the use of the physical and chemical variables, the aquatic macro invertebrates and quality indexes, to prevent the contamination of water, with cleaner production strategies that reduce environmental negative impacts.

Objective. To determine the quality of water from the Ayurá creek, by the analysis of physical and chemical variables and the community of aquatic macro invertebrates.

Materials ad methods. In November 2007 and January and February 2008, samples were taken from three stations located in the high, medium and low parts of the creek. In each station the physical/chemical variables were measured, and samples of macro invertebrates were taken with the Surber net.

Results. A total number of 1655 organisms, distributed in 59 taxa, were counted. From them, the most abundant were *Leptonema*, Haplotaxida and *Baetodes*. The space behavior of electric conductivity, turbidity, total alkalinity and solids dissolved keeps a close relation with the eco-physiological characteristics of aquatic macro invertebrates.

Conclusion. In station 1 there was a good quality of the water and in stations 2 and 3 that quality was considered between good and medium. The highest deterioration took place in station 3, as a consequence of the pouring of external waste water into the creek and the presence of solid wastes near the sampling stations.

Key words: Quality of water, physical and chemical variables, aquatic macro invertebrates, diversity indexes.

RESUMO

Introdução. A análise de variáveis físico-químicas e o emprego de macro-invertebrado como testemunhas da qualidade da água são métodos complementares nos processos de avaliação

das condições ambientais. As razões da utilização destes organismos como indicadores se fundamentam principalmente em seus ciclos de vida mais prolongados em comparação com outros organismos aquáticos inferiores, e pouca mobilidade. Através do emprego das variáveis físico-químicas, macro-invertebrados aquáticos e índices de qualidade, pretendem-se prevenir a contaminação dos recursos hídricos, orientado para a busca de estratégias de produção mais limpa com o fim de reduzir os impactos ambientais nestes reo-ambientes.

Objetivo. Determinar a qualidade da água do riacho A Ayurá através da análise de variáveis físico-químicas e a comunidade de macro-invertebrados aquáticos.

Materiais e métodos. Em novembro de 2007, janeiro e fevereiro de 2008, a amostragem em três estações localizadas na parte alta, média e baixa do riacho. Em cada estação se mediram variáveis físico-químicas e se tomaram mostras de macro-invertebrados aquáticos com a rede Surber.

Resultados. Ao todo se contaram 1655 organismos distribuídos em 59 taxa, dos quais sobressaíram por sua abundância Leptonema, Haplotaxida e Baetodes. O comportamento espacial da condutividade elétrica, turvação, alcalinidade totais e sólidos dissolvidos guarda uma estreita relação com as características eco- fisiológicas dos macro-invertebrados aquáticos.

Conclusão. Na estação 1 se apresentou uma boa qualidade da água e nas estações 2 e 3 de boa a média qualidade, mas evidenciando uma maior deterioração na 3 como consequência do aporte das descargas de águas residuais vertidas ao riacho e à presença de resíduos sólidos em proximidades das estações de amostragem.

Palavras importante: Qualidade da água, variáveis físico-químicas, macro-invertebrados aquáticos, índices de diversidade.

INTRODUCCIÓN

La medición y análisis de variables fisicoquímicas y biológicas como testigos de la calidad del agua son métodos complementarios en los procesos de evaluación de las condiciones ambientales de las aguas superficiales^{1,2,3,4,5}. Sin embargo, las variables fisicoquímicas sólo reflejan las condiciones ambientales en el momento del muestreo y no revelan las características del agua durante cierto período de tiempo^{6,7,8}.

El comportamiento de los métodos biológicos ha adquirido importancia en la determinación de la calidad del agua, especialmente aquellos relacionados con el estudio y análisis de la estructura de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos^{9,10,11,12,13,14,15}. Las razones principales del empleo de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de las condiciones ambientales de los sistemas lóticos se fundamentan, principalmente, en que estos organismos presentan ciclos de vida más prolongados en relación con otros organismos acuáticos microscópicos, además de poca movilidad^{16,17,18}.

De otro lado, la aplicación de las comunidades acuáticas en el estudio de calidad de agua está relacionada con el empleo del índice de diversidad y sus

componentes. Entre estos es importante mencionar los índices de diversidad de Shannon-Weaver¹⁹, de dominancia de Simpson²⁰ y el de uniformidad de Pielou²¹. También se emplean los índices comparativos, los cuales pretenden determinar las modificaciones en la calidad del agua a partir de la comparación de comunidades entre diferentes sitios de muestreo, como el índice de Jaccard²², el de Sorensen²³ y el coeficiente de pérdida de la comunidad de Courtemanch y Davis²⁴. En algunas publicaciones se sustenta el empleo de estos índices como una medida de la evaluación de la respuesta de los macroinvertebrados acuáticos a la calidad ambiental del agua^{2, 9, 10, 11, 25, 26}.

De igual manera, existen índices que miden el deterioro del agua teniendo como base variables físicoquímicas. La información que suministran estos índices puede ser mejor interpretada que una lista de valores numéricos, dado que agrupan las variables contaminantes más representativas como una medida de determinación de las condiciones ambientales del agua^{27, 28}.

A través del empleo de las variables físicoquímicas, macroinvertebrados acuáticos e índices de calidad, se pretende prevenir la contaminación de los recursos hídricos, orientado hacia la búsqueda de estrategias de producción más limpia con el fin de reducir los impactos ambientales en estos ecoambientes.

En la quebrada La Ayurá se han realizado estudios recientes como el de Aguirre⁵ y el de González¹⁴, en los cuales se incluye el análisis de variables físicoquímicas y comunidades acuáticas. En el primero se evaluó la calidad del agua a través del comportamiento de los protistas y en el segundo se caracterizó el agua superficial de la quebrada, aplicando índices de calidad e índices bióticos con referencia, aplicando estos últimos a la comunidad de macroinvertebrados acuáticos.

Con este estudio se pretende evaluar espacial y temporalmente la calidad del agua de la quebrada La Ayurá (Envigado, Antioquia) desde el punto de vista del análisis físicoquímico y del estudio de la composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, teniendo en cuenta que en el trayecto estudiado se presentan descargas directas de aguas residuales, provenientes de actividades domésticas.

MATERIALES Y MÉTODOS

En noviembre de 2007 y enero y febrero de 2008, se muestrearon tres estaciones ubicadas en la parte alta, media y baja de la quebrada la Ayurá.

Ubicación estaciones de muestreo: la parte alta o estación 1 (N 06°07'34.08", W 75°33'46.68"), se localizó en el área rural del municipio de Envigado, a 1875 m.s.n.m. Las estaciones 2 (N 06°09'23.82", W 75°34'46.80") y 3 (N 06°10'48.72", W 75°34'52.56") están ubicadas dentro del perímetro urbano del municipio de Envigado, específicamente en el barrio Rosellón, a 1678 m.s.n.m., y el sector de la Salle, a 1523 m.s.n.m., respectivamente.

Toma de muestras: en cada estación se midieron las siguientes variables fisicoquímicas: temperatura del agua, oxígeno disuelto, CO_2 , pH, conductividad eléctrica, alcalinidad total, dureza total, sólidos disueltos y turbiedad. La temperatura del agua, el oxígeno disuelto, la conductividad eléctrica y los sólidos disueltos se determinaron "in situ", con los equipos WTW Oxi 315i, Cond WTW 315i y pH 315i, respectivamente. La alcalinidad total, dureza total y CO_2 se determinaron por método titulométrico y colorimetría. La toma de muestras fisicoquímicas se realizó siguiendo las recomendaciones del Standard Methods²⁹.

Para la colecta de macroinvertebrados acuáticos se utilizó la red Surber, la cual permite un muestreo cuantitativo. Los organismos capturados se almacenaron en recipientes plásticos rotulados y preservados en alcohol al 70%. De esta manera se transportaron directamente del campo al laboratorio de Hidrobiología Sanitaria de la Universidad de Antioquia.

Determinación y conteo de macroinvertebrados acuáticos: para tal efecto se empleó un estereomicroscopio tipo Boeco-Germany, modelo BM-180/sp, y las claves taxonómicas específicas de Burks³⁰, Roldán³¹, Santiago-Fragoso y Vásquez³², Muller³³, Merrit y Cummins³⁴, Posada y Roldán³⁵ y Fernández y Domínguez³⁶.

Tratamiento de la información: para el análisis de los resultados fisicoquímicos se empleó el programa StatGraphics versión 5.0 (2000), que permitió obtener resultados para cada una de las variables a través de un análisis univariado, tamaño de muestra, valor promedio, valor máximo y mínimo, varianza y desviación estándar. Para el caso específico de los macroinvertebrados acuáticos se estableció una relación de las estaciones y épocas de muestreo, a través de un dendrograma (Biodiversity Pro versión 2, 1997)

Parte de la interpretación de los resultados fisicoquímicos se efectuó a través de los índices por mineralización (ICOMI) y pH (ICOpH). En Fernández²⁸ y Ramírez y Viña³⁷ se registra información sobre la aplicación de estos índices en los sistemas acuáticos. Adicionalmente, para los macroinvertebrados acuáticos se calcularon el índice de diversidad de Shannon-Weaver¹⁹, dominancia de Simpson²⁰ y equidad de Pielou²¹. De igual manera se aplicaron los índices de similaridad, como el de Jaccard²², Sorensen²³ y coeficiente de pérdida de la comunidad²⁴. El rango de valores para el índice de diversidad de Shannon-Weaver oscila entre 0 y 3, y los niveles iguales o mayores al límite superior se relacionan con buenas condiciones ambientales³⁸.

RESULTADOS

En el estudio espacio-temporal realizado en la quebrada la Ayurá, se evaluaron nueve variables consideradas relevantes, que permitieron entender la dinámica de la quebrada a partir del comportamiento de estas variables (tabla 1).

Temperatura del agua, oxígeno disuelto, dióxido de carbono, pH y dureza total presentaron poca variación de los resultados entre estaciones, con lo que se

podría decir que sus valores permanecieron estables en el tiempo. Las variables conductividad eléctrica, alcalinidad total, sólidos disueltos y turbiedad, tuvieron mayor incidencia en la quebrada respecto a las variables antes mencionadas con relación a la dispersión de los datos, donde sobresalen los valores de alcalinidad total ($\sigma^2=566,90$) y conductividad eléctrica ($\sigma^2=498,30$). La dispersión de estos resultados se ve reflejada en los niveles mínimos y máximos entre las estaciones 1 y 3.

Tabla I. Variables físicoquímicas e índices de calidad

Variables Físico Químicas	Períodos de muestreo y estaciones								
	28 de noviembre 2007			24 de enero de 2008			26 de febrero de 2008		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
Temperatura del agua °C	17,5	19,2	20,2	18,0	18,0	21,0	17,5	16,5	21,7
Oxígeno Disuelto (mg/L)	7,2	6,9	5,8	8,3	8,2	7,5	6,4	6,8	6,1
CO ₂ (mg/L)	0,0	2,4	3,4	6,6	7,0	5,5	2,4	2,1	2,5
pH	7,1	7,8	7,5	7,3	7,5	7,6	7,4	7,6	7,5
Conductividad Eléctrica (µs/cm)	21,2	45,1	67,5	21,3	46,7	76,9	18,0	39,4	68,9
Alcalinidad Total (mg/L CaCO ₃)	12,0	21,8	25,8	30,0	20,0	70,0	20,0	40,0	80,0
Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	20,0	22,0	24,0	8,9	17,7	26,7	26,7	26,7	26,7
Sólidos disueltos (mg/L)	19,0	40,0	59,0	19,0	42,0	69,5	19,0	41,0	67,0
Turbiedad (UNT)	1,3	11,1	8,2	1,0	4,0	10,0	8,0	4,9	71,2
Valores Estadísticos									
	N	X	σ^2	σ	Min	Max			
Temperatura del agua °C	9	18,8	3,20	1,79	16,50	21,70			
Oxígeno disuelto (mg/L)	9	7,0	0,80	0,89	5,80	8,30			
CO ₂ (mg/L)	9	3,5	5,40	2,32	2,10	7,00			
pH	9	7,5	0,00	0,00	7,10	7,80			
Conductividad eléctrica (µs/cm)	9	45,0	498,30	22,32	18,00	76,90			
Alcalinidad total (mg/L CaCO ₃)	9	35,5	566,90	23,81	12,00	80,00			
Dureza total (mg/l CaCO ₃)	9	22,2	35,8	5,98	8,90	26,70			
Sólidos disueltos (mg/L)	9	41,7	407,70	20,19	19,00	69,50			
Turbiedad (UNT)	9	13,3	484,30	22,01	1,00	71,20			
Índices de calidad									
ICOpH	9	0,006	0,00	0,00	0,00	0,02			
ICOMI	9	0,041	0,00	0,04	0,01	0,10			

Otra forma de evaluar los resultados obtenidos de las variables fisicoquímicas fue a través de los índices de calidad de pH (ICOpH) y mineralización (ICOMI), los cuales presentaron datos bajos de varianza y desviación estándar (tabla 1).

Otro componente evaluado en esta investigación fueron los macroinvertebrados acuáticos, los cuales permitieron determinar el estado real de la quebrada a partir de sus cualidades como bioindicadores. La mayor representación de los organismos encontrados pertenece a la clase insecta y, en menor proporción, a los anélidos y moluscos (tabla 2). Durante el periodo de muestreo se contaron 1655 organismos distribuidos en 59 taxones, de los cuales sobresalieron por su abundancia *Leptonema* sp con 71 individuos, el anélido Haplotaxida con 76 y *Baetodes* sp (122). Le siguen *Camelobaetidium* sp y *Leptohyphes* sp con 137 individuos cada uno, *Smicridea* sp (139) y los dípteros Orthocladinae con 180 y Tanypodinae con 318, número éste que representa una abundancia relativa de 19,2 por ciento del total.

En noviembre de 2007 se contaron 131 individuos en la estación 1, 197 en la 2 y 126 en la estación 3. En la estación 1 los taxones más predominantes fueron *Baetodes* sp con 28 individuos, *Leptohyphes* sp (26) y *Protoptila* sp con 13. Por su parte, en la estación 2 los macroinvertebrados acuáticos más representativos fueron Tanypodinae con 33 individuos, *Smicridea* sp (31) y *Baetodes* sp con 19 y en la estación 3 Haplotaxida con 53, Chironomidae (16) y Tanypodinae, con 19 individuos.

En la segunda campaña de muestreo realizada en enero de 2008, se colectó el más alto número de individuos (965), lo cual corresponde al 58.3 % del total. En la estación 1 se contaron 322 individuos, en la 2 se capturaron 278 y en la estación 3 se colectaron 365. En la estación 1 *Smicridea* sp, con 45 individuos; *Leptohyphes* sp (41) y *Leptonema* sp, con 23, fueron los más importantes. En la estación 2 sobresalieron en abundancia Tanypodinae, con 89 individuos, *Baetodes* sp (44) y *Camelobaetidium* sp, con 41 y, por último, en la estación 3 los más representativos fueron Tanypodinae, con 128 *Camelobaetidium* sp, (70) y Chironomidae, con 45 individuos.

En el último muestreo llevado a cabo en febrero de 2008 se presentó una disminución en cantidad de organismos, en especial en las estaciones 2 y 3, con 54 y 55 individuos respectivamente (tabla 2). En la estación 1 sobresalieron *Smicridea* sp, con 3; *Phylloicus* sp (25) y *Leptohyphes* sp, con 22 individuos. En la 2 predominaron *Smicridea* sp (11) y *Leptonema* sp, con 11 individuos y, en la estación 3, Tubificidae, con 22.

En el análisis de agrupamiento se observan dos ramificaciones principales (figura 1). La primera está conformada por la estación 3 del muestreo del 26 de febrero de 2008. La segunda ramificación se divide en dos subgrupos, el primero muestra las relaciones por pares de las estaciones 2 y 3 y el segundo la similaridad de la estación 1 en los tres muestreos.

En general se obtuvo un porcentaje de similaridad del 42.63%. El mayor valor de agrupamiento se alcanzó en las estaciones 2 y 3 del mes de noviembre, con 63.67 %. Este porcentaje confirma los valores obtenidos por los índices de similitud de Sorensen y Jaccard en las mismas estaciones y fechas. Esta relación no se cumple para los muestreos de enero y febrero de 2008 (figura 1).

Tabla 2. Taxa y número de individuos de macroinvertebrados acuáticos asociados a la quebrada Ayurá (Envigado)

Taxa	Períodos de muestreo y estaciones								
	28 de noviembre 2007			24 de enero de 2008			26 de febrero de 2008		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
<i>Girardia</i> sp 1 (c.f)	2						2		
<i>Girardia</i> sp 2 (c.f)	6								
<i>Girardia</i> sp 3 (cf)	1			6	1				
<i>Girardia</i> sp4 (cf)		3		4				1	
Tubificidae		4	2	9	12	1			22
Haplotaxida		6	53			8	2	2	5
Hirudinea I						2			1
Baetidae		3	1		8				
<i>Baetodes</i> sp	28	19	1	18	44	2	1	4	5
<i>Camelobaetidius</i> sp		14	9		41	70			3
<i>Thraulodes</i> sp				1			1		
<i>Aroapyrgus</i> sp						1			
<i>Leptohyphes</i> sp	26			68	20		22	1	
<i>Tricorythodes</i> sp	1			1					
<i>Hetaerina</i> sp					1				1
<i>Erythemis</i> sp		1		2					
<i>Sympetrum</i> sp			1			2			
<i>Macrothemis</i> sp				1		1			
<i>Dythemis</i> sp								1	
Libellulidae		2		3					
<i>Brechmorhoga</i> sp				1	2				4
<i>Phyllogomphoides</i> sp						1			
<i>Erythrodiplax</i> sp						3			
<i>Corydalus</i> sp				1					
<i>Limnocois</i> sp	3			3			2		
<i>Macrelmis</i> sp							4		
<i>Heterelmis</i> sp	3			7			16		
<i>Optioservus</i> sp (larva)	1								
<i>Phanocerus</i> sp	1								
Hydrophyliidae sp (larva)						1	1		

Continuación de la Tabla 2.

Taxa	Períodos de muestreo y estaciones								
	28 de noviembre 2007			24 de enero de 2008			26 de febrero de 2008		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
<i>Disersus</i> sp (larva)				1			2		
Elmidae				1			1		
<i>Cyloepus</i> sp	1			9	1		19	2	
<i>Hydroptila</i> sp							1		
<i>Anchytarsus</i> sp	2			6			3		
Elmidae I	1								
Trichoptera				1					
<i>Protophila</i> sp	13			11	1	4	7	1	1
<i>Smicridea</i> sp	7	31	4	45	6	5	30	11	
<i>Leptonema</i> sp	9	5		23	4	3	14	11	2
<i>Triplectides</i> sp	1								
<i>Phylloicus</i> sp				8			25	1	
<i>Mortoniella</i> sp	3	9	9	10	4	1	4	4	2
<i>Helicopsyche</i> sp	2			2		1			4
<i>Atanatolica</i> sp	1			2					
<i>Oecetis</i> sp	1			4	2		1		
<i>Marilia</i> sp	1						2		
Diptero (Pupa)		1		14	7	3			
<i>Tipula</i> sp		1	1		1		2		
<i>Clognia</i> sp		2	1			1			
<i>Simulium</i> sp	13	2		5	3		12	1	
<i>Tabanus</i> sp	1			3					
Chironomidae	1	1	16			45		4	1
Tanypodinae	1	33	19	41	89	128	2	5	
Orthocladinae	1	9	8	10	15	32		4	1
<i>Chironomus</i> sp				1	6	20	1		
Planorbidae									1
<i>Physidium</i> sp						1			
<i>Physa</i> sp		1	1		4	29		1	1
Subtotal	131	147	126	322	278	365	177	54	55
Total		404			965			286	

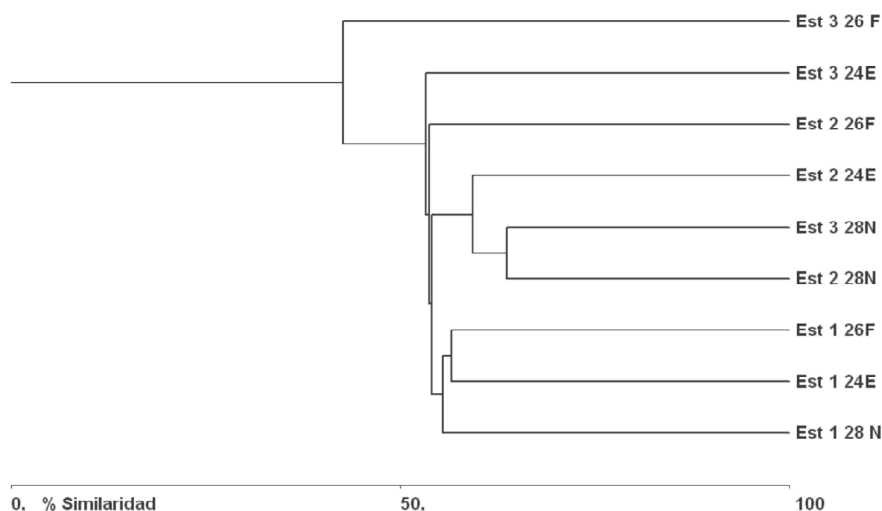


Figura 1. Dendrograma análisis de similaridad de especies encontradas en la quebrada la Ayurá

En todos los meses de muestreo los niveles del índice de diversidad de Shannon-Weaver decrecieron desde la estación 1 a la 3, con un valor mínimo de 1.84 calculado en la estación 3 en enero de 2008 y un máximo de 2.77 en la estación 1 en el muestreo de febrero de 2008 (tabla 3).

Tabla 3. Índices de diversidad y sus componentes

Fecha	Índices y estación								
	Diversidad Shannon-Weaver (1949)			Dominancia de Simpson (1949)			Equidad de Pielou (1977)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Noviembre de 2007	2,56	2,34	1,87	0,11	0,13	0,23	0,78	0,79	0,71
Enero de 2008	2,77	1,98	1,84	0,09	0,20	0,18	0,79	0,68	0,58
Febrero de 2008	2,60	2,40	2,16	0,01	0,10	0,18	0,81	0,86	0,78
Valores estadísticos									
Número de datos	9			9			9,00		
Promedio (\bar{x})	2,28			0,14			0,75		
Varianza (σ^2)	0,11			0,00			0,01		
Desviación estándar (σ)	0,34			0,05			0,08		
Valor mínimo	1,84			0,09			0,58		
Valor máximo	2,77			0,23			0,87		
Rango	0,93			0,13			0,29		

Los resultados de varianza para los índices de dominancia de Simpson (0,00) y Equidad de Pielou (0,01), permitieron evidenciar diferencias espaciales no significativas entre estos dos índices, resultados que se ratificaron con el rango establecido (0,93) para el índice de diversidad de Shannon- Weaver.

Los resultados obtenidos por los índices de similaridad mostraron con respecto al coeficiente de pérdida de la comunidad una mayor pérdida de taxones en la estación 1 con respecto a la 3, en noviembre de 2007 y febrero de 2008 (tabla 4). La similaridad de Sorensen y Jaccard fue mayor entre las estaciones 2 y 3 en la campaña de campo efectuada en noviembre de 2007.

Tabla 4. Índices de Similaridad

Índices	Periodos de muestreo y estaciones								
	Noviembre 2007			Enero 2008			febrero 2008		
	E1-E2	E1-E3	E2-E3	E1-E2	E1-E3	E2-E3	E1-E2	E1-E3	E2-E3
Coefficiente de pérdida de la comunidad (1987)	1,00	1,50	-	1,11	0,88	-	0,88	1,25	-
Sorensen (1966)	0,35	0,29	0,79	0,51	0,42	0,43	0,54	0,24	0,50
Jaccard (1908)	0,21	0,17	0,65	0,34	0,27	0,27	0,37	0,14	0,33

DISCUSIÓN

Basados en el análisis de datos de las variables fisicoquímicas, el factor que más incidió en la dispersión de los datos fue el componente estación, lo cual permite diferenciar dos grupos de variables fisicoquímicas de acuerdo con la distribución espacial. El primer grupo lo conforman aquellas variables que presentaron valores espaciales más estables, como fueron el oxígeno disuelto, el dióxido de carbono, la temperatura del agua, el pH y la dureza total. Aunque aparentemente estas variables no tuvieron incidencia en la determinación de la calidad del agua en la quebrada La Ayurá, son ampliamente estudiadas en la evaluación de las condiciones ambientales de los sistemas lóticos^{2,4,9}.

El segundo grupo constituido por la conductividad eléctrica, turbiedad, alcalinidad total y sólidos disueltos, presentó una alta distribución espacial, corroborada por una mayor dispersión estadística (tabla 1). La respuesta en las concentraciones y valores de estas variables son, posiblemente, el resultado de modificaciones de los escenarios acuáticos de la quebrada, en donde el deterioro ambiental está estrechamente asociado con las acciones de tipo antrópico que se registran en esta corriente.

Estas actividades se relacionan principalmente con las descargas de aguas residuales vertidas directamente a la quebrada y con la presencia de residuos sólidos en las riveras y en el cauce, siendo más evidente esta situación en proximidades de los sitios de muestreo 2 y 3.

La determinación de las variables físicoquímicas tendrán mayor representatividad en el tiempo y espacio si los tamaños muestrales son significativos, así mostrarían una mayor correlación con los indicadores biológicos de la calidad del agua.

El comportamiento espacial de las variables físicoquímicas que conforman el segundo grupo guarda una estrecha relación con las características eco- fisiológicas de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos determinados en el trayecto estudiado de la quebrada La Ayurá. La composición espacial de estos organismos permite inferir que en la estación 1 se presenta una buena calidad del agua y en las estaciones 2 y 3, una condición de buena a mediana calidad, pero evidenciando un mayor deterioro ambiental en la 3.

Esta apreciación se puede sustentar a través de la presencia exclusiva en la estación 1 de morfotipos que frecuentan ambientes de buena calidad, como *Limnocois*, *Heterelmis*, *Anchytarsus* y *Atanatoica*. Así como también, de un número relativamente alto de individuos de *Protoptila*, *Smicridea* y *Leptohyphes* en la estación 1 y en menor proporción en la 2. El primero de estos se relaciona con aguas de buena calidad y los otros dos con ambientes situados entre las categorías de buena calidad a ligeramente contaminados¹¹.

Además es posible suponer que una mayor abundancia de anélidos oligoquetos (tubificidos) en las estaciones 2 y 3, con menor número en la 2 y la presencia exclusiva de hirudineos en la 3, aunque estos últimos con una densidad poblacional muy baja, son también aspectos a considerar en la definición de la calidad del agua en la quebrada La Ayurá, especialmente en las estaciones 2 y 3. Según Gaviria³⁹ los oligoquetos alcanzan poblaciones muy elevadas en aguas contaminadas, y Pinilla⁴⁰ referencia a los oligoquetos e hirudineos como indicadores de contaminación por materia orgánica.

Siguiendo con el análisis de la distribución de la composición de la fauna de macroinvertebrados acuáticos en la quebrada La Ayurá, una apreciación que también guarda cierta concordancia con la determinación de la calidad del agua en la quebrada tiene que ver con un número relativamente alto de *Baetodes* en la estación 2 y de *Camelobaetidius* en la 2 y 3. El primero de estos comparte una condición ambiental similar a *Smicridea* y *Leptohyphes*^{11,41}, y *Camelobaetidius* prefiere aguas entre de buena calidad a medianamente contaminadas.

Los valores espaciales arrojados por el índice de diversidad de Shannon-Weaver y su relación con las condiciones ambientales actuales de la quebrada, responden de una manera similar a los registrados para los físicoquímicos que conforman el segundo grupo y con el comportamiento de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos. Aunque en ninguno de los muestreos y estaciones se alcanzó un valor de diversidad igual o superior a 3.0, es importante resaltar que las mayores diversidades se calcularon en la estación 1 (tabla 3).

Como reflejo de los resultados alcanzados por el índice de diversidad de Shannon-Weaver, de igual manera, responden los valores de uniformidad y dominancia a

pesar del número relativamente alto de dípteros Tanypodinae (35%) colectados en la estación 3 en el muestreo de enero.

Los resultados derivados del dendograma indican que, aunque no se obtuvo un porcentaje de similaridad importante entre estaciones y muestreos, la estación 1 presenta un mayor grado de similitud con respecto a las otras dos. En la figura 1 también se aprecia que las estaciones 2 y 3 son muy similares entre sí, dada la formación de pequeños agrupamientos entre estas. Estos resultados reflejan, en cierta medida, las condiciones ambientales presentes en el tramo estudiado de la quebrada.

Por otro lado, la similitud registrada por el dendograma muestra que al parecer los períodos de muestreo tienden a incidir y a generar algunas diferencias en relación con la distribución de los organismos. De igual manera se puede precisar esto último al observar los resultados de los índices de similitud de Sorensen y Jaccard y el coeficiente de pérdida de la comunidad, los cuales no muestran entre sí una concordancia espacio-temporal en sus resultados.

De otro lado, se puede notar que los valores de ICOMI y de ICOPH fueron bajos en todas las estaciones y muestreos, lo cual indica que en el tramo estudiado de la quebrada La Ayurá no se presenta contaminación por mineralización ni por pH.

CONCLUSIONES

La conductividad eléctrica, turbiedad, alcalinidad total y sólidos disueltos, fueron las variables fisicoquímicas que indicaron variaciones ambientales espaciales, al parecer como una respuesta de las modificaciones de los escenarios acuáticos de la quebrada, donde el deterioro ambiental está estrechamente asociado con las actividades antrópicas que se manifiestan en el tramo estudiado de esta corriente.

La composición espacial y el comportamiento eco-fisiológico de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos permite concluir que en la estación 1 se presenta una buena calidad del agua y en las estaciones 2 y 3 una condición de buena a mediana calidad, pero evidenciando un mayor deterioro en la 3 como consecuencia del aporte de las descargas de aguas residuales vertidas directamente a la quebrada y por la presencia de residuos sólidos en proximidades de las estaciones de muestreo.

El índice de diversidad de Shannon-Weaver y los resultados derivados del dendograma guardan una estrecha relación con el comportamiento de las variables fisicoquímicas que conforman el segundo grupo y con la composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos determinados en la quebrada La Ayurá.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del estudio agradecen al Grupo de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental- GAIA, Facultad de Ingeniería, 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 a los estudiantes de pregrado del programa de Ingeniería Sanitaria Verónica Arana, Jamer Quiceno, Miguel Torrejón, Andrés Restrepo y Andrés Cano, por el apoyo en las campañas de campo.

REFERENCIAS

1. SAWYER CLAIR, Nathan; MCCARTY, Perry L y PARKIN, Gene F. Alcalinidad y dureza. En: Química para ingeniería ambiental. 4ª ed. Bogotá: Mc Graw Hill; 2000. p. 508-531.
2. POSADA GARCÍA, José Andrés, *et al.* Caracterización físicoquímica y biológica de la calidad de aguas de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. En: Revista de Biología Tropical. Marzo, 2000. vol.48, no. 1, p.59-70.
3. TORRES, Yenecith, *et al.* Estudio preliminar de algunos aspectos ambientales y ecológicos de las comunidades de peces y macroinvertebrados acuáticos en el río Tutunendo, Chocó, Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Marzo, 2006, vol. 30, no. 114, p. p 67-76.
4. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN GESTIÓN Y MODELACIÓN AMBIENTAL. Caracterización de los principales aspectos fisicobióticos de la microcuenca de la quebrada La Vega, municipio de San Roque, Antioquia. Medellín: Universidad de Antioquia. Medellín, 2004. 147 p.
5. AGUIRRE, Dennys; AGUIRRE, Néstor y CAICEDO QUINTERO, Orlando. Evaluación de la calidad del agua a través de los protistas en la quebrada La Ayurá en Envigado (Antioquia). En: Revista Producción más Limpia. Diciembre, 2008, vol 3, no. 1, p 50-60.
6. ALBA-TERCEDOR, Javier. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. En: Simposio del agua en Andalucía (SIAGA). [4: Almería). Perú: 1996. 203-213.
7. -----; JAIMEZ CUELLAR, Pablo y ORTEGA, Manuel. Caracterización del estado ecológico de ríos ibéricos mediante el índice IBMWP (antes BMWP). En: Revista Limnetica. 2002, vol. 21, no. 3-4. p. 175-185.
8. SALLUSSO, María Mónica y MORAÑA, Liliana B. Comparación de índices bióticos utilizados en el monitoreo de dos sistemas lóticos del noreste argentino. En: Revista de Biología Tropical. 2002, vol. 50, no. 1, p 327-336.

9. CAICEDO QUINTERO, Orlando y PALACIO, Jaime. Los macroinvertebrados bentónicos y la contaminación orgánica en la quebrada la Mosca (Guarne, Antioquia, Colombia). En: Actualidades Biológicas. Julio, 1998, vol. 20, no. 69, p. 58-70.
10. ROLDAN PÉREZ, Gabriel. Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. En: Revista de la Académica Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Septiembre, 1999, vol. 23, no. 88, p. 375-387.
11. CAICEDO QUINTERO, Orlando, PALACIO, Jaime y AGUIRRE, Néstor. Macroinvertebrados acuáticos. En: AGUIRRE, Néstor; PALACIO, Jaime y WILLS TORO, Alvaro (Eds.). Caracterización de los principales aspectos fisicobióticos de la microcuenca de la quebrada La Vega, municipio de San Roque, Antioquia. Medellín: Universidad de Antioquia, 2004 p. 84-98.
12. JUÁREZ FLORES, Juan. Caracterización de la cuenca del río Metztitlán (Hidalgo, México) con base en la entomofauna acuática y condiciones limnológicas. Tesis de Magister en Biología. México: Universidad Autónoma Metropolitana. Iztapalapa, 2007
13. ARANGO, M.C; ALVAREZ, L.F; ARANGO, G.A; TORRES, O.E. y MONSALVE, A de J. Calidad del agua de las quebradas La Cristalina y La Risaralda. En: Revista EIA. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Julio, 2008, no. 9, p 121-141.
14. GONZÁLEZ MELENDEZ, Viky y CAICEDO QUINTERO, Orlando. Evaluación de calidad del agua de la quebrada La Ayurá mediante la aplicación de índices de calidad -ICAs- e índices bióticos. Tesis de grado Ingeniero Sanitario y Ambiental. Medellín: Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2008. 61 p.
15. HERRERA-VÁSQUEZ, Jonathan. Community structure of aquatic insects in the Esparza River, Costa Rica. En: Revista de Biología Tropical. March-June, 2009, vol. 57, no. 1-2, p. 133-139.
16. HAWKES, H.A. Invertebrates as indicators of river quality. En: JAMES, A. Biological indicators of water quality. Estados Unidos: Ediciones John Wiley & Sons, 1979, p 1-45.
17. ALBA-TERCEDOR, Javier y SÁNCHEZ-ORTEGA, A. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). En: Limnética. 1988, vol 4, p. 51-56.
18. ROSENBERG, David M. y RESH, Vicent H. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. New York: Chapman & Hall, 1993. 488 p

19. SHANNON, Claude E. y WEABER, Wearren. The mathematical theory of communication. Estados Unidos: The University of Illinois Press, 1949.
20. SIMPSON, E.H. Measurement of diversity. En: Nature. April, 1949, no. 163, 688 p.
21. PIELOU, E.C. Mathematical ecology. Estados Unidos: John Wiley, 1977. 385 p.
22. ESPAÑA. MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTE Y URBANISMO. Guía para la elaboración de estudios del medio físico: contenido y metodología. 2ª ed. Madrid: Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Urbanismo, 1984.
23. NRIAGU, Jerome O. Environment. Part 2, Health effects. New York :Wiley and Sons, 403 p.
24. COURTEMANCH, D y DAVIES, S. A coefficient of community loss to assess detrimental change in aquatic communities. En: Water Research. 1987, vol. 21, no. 2, p 217-222.
25. ZAMORA GONZÁLEZ, HILDIR y SARRIA, H. Calidad biológica de dos ecosistemas lóticos afectados por aguas residuales de rallanderías de yuca, mediante la utilización de sus macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores, comparando además la aplicación de los índices de Shannon-Weaver y BMWP. En: Unicauca Ciencia. Noviembre, 2001, vol. 6, p. 21-41.
26. PINO CHALÁ, Wilber, *et al.* Diversidad de macroinvertebrados y evaluación de la calidad del agua de la quebrada La Bendición, municipio de Quibdó (Choco, Colombia). En: Acta Biológica Colombiana. 2003, vol. 8, no.2. 23-30.
27. LEON VIZCAINO, Luis F. Índices de calidad del agua (ICA), forma de estimarlos y aplicación en la cuenca Lerma-Chapala. En: Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. [8: 22-25, septiembre: Cocoyoc Morelos]. Memorias. México. 1992. p 20-26.
28. FERNANDEZ, N. Índices de la calidad del agua e índices de contaminación. España: Universidad de Pamplona, 2005. 141 p.
29. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION AND WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st. Washington: American Public Health Association, (APHA), 2005. 1368 p.
30. BURKS, B.D. The mayflies or ephemeroptera of Illinois. Los Angeles: Entomological Reprint Specialists, 1975. 216 p.

31. ROLDÁN PÉREZ, Gabriel. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Bogotá: Presencia. FEN-Colciencias. Universidad de Antioquia, 1988.
32. SANTIAGO-FRAGOZO, S y VASQUEZ, L. Clave para identificar las familias acuáticas y semiacuáticas del orden coleóptera del estado de Morelos. En: Anales del Instituto de Biología. 1990, vol. 61, no. 1. p 133-138
33. MULLER, Hans Joaching. Bestimmung wirbelloser Tiere. Stuttgart. 1995
34. MERRIT, Ricard W. y CUMMINS, Kenneth W. An introduction to the aquatic insects of North America. 2 ed. Kendall/Hund Publishing Company. 1996
35. POSADA, García, José A. y ROLDÁN PÉREZ, Gabriel. Clave ilustrada y diversidad de las larvas de Trichoptera en el Nor- Occidente de Colombia. En: Caldasia. 2003, vol. 25, no. 1. p 169-192.
36. FERNÁNDEZ, H. R y DOMÍNGUEZ, E. (Ed). Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos. Argentina: Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Ciencias Naturales. Instituto M. Lilli, 2001.
37. RAMIREZ, A; RESTREPO, R. y VIÑA, G. Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. Formulación y Aplicación. En: Ciencia, Tecnología y Futuro. 1997, vol. 1, no. 3, p 135-153
38. WILHM, Jerry L y TROIT C. Dorris. Species diversity of benthic macroinvertebrates in a stream receiving domestic and oil refinery effluents. American Midland Naturalist. October, 1966, vol. 76, no. 2, p. 427-445.
39. GAVIRIA, Elisabeth Ana. Claves para las especies colombianas de las familias Naididae y Tubificidae (Oligochaeta, Annelida). En: Caldasia. 1993, vol. 17, no. 2, p. 237-248.
40. PINILLA AGUDELO, Gabriel Antonio. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales en Colombia. Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano. Centro de Investigaciones Científicas, 1998. 68 p.
41. VEGA, Melvys J. y DURANT, Pedro. Fenología de efemerópteros y su relación con la calidad del agua del río Albarregas, Mérida, Venezuela. En: Revista de Ecología Latinoamericana. 2000, vol. 7, no. 3, p 19-27.