

Caracterización de la calidad del agua de la parte alta de la microcuenca de la quebrada La Cimarronas, El Carmen de Viboral (Antioquia), utilizando macroinvertebrados acuáticos

Characterization of the water quality of the upper watershed La Cimarronas stream, El Carmen de Viboral (Antioquia), using aquatic macroinvertebrates

Janes García Montoya¹, Juan Carlos Carmona Bedoya¹, Yimmy Montoya Moreno²

Resumen

Título: Caracterización de la calidad del agua de la parte alta de la microcuenca de la quebrada La Cimarronas, El Carmen de Viboral (Antioquia), utilizando macroinvertebrados acuáticos.

Objetivo: Evaluar la calidad del agua en tres momentos del ciclo hidrológico en la quebrada La Cimarronas y sus principales afluentes.

Materiales y métodos: En ocho estaciones de muestreo ubicadas entre la parte alta de la microcuenca y sus afluentes, se estudió la fauna de macroinvertebrados acuáticos y las condiciones fisicoquímicas del agua en tres períodos diferentes del ciclo hidrológico (2011), además de construir el mapa de calidad de agua.

Resultados: Se encontraron durante los tres períodos de muestreo, 62 familias pertenecientes a 15 órdenes y un total de 3411 individuos. Las familias sobresalientes en su orden de abundancia fueron Glossosomatidae, Physidae, Simuliidae y Chironomidae.

Conclusión: Algunos tramos de estas corrientes están sometidos a contaminación de origen doméstico y agropecuario, lo cual limita sus condiciones de uso. El índice BMWP/Col evidenció que la calidad del agua es variable, registrando un deterioro de la calidad del agua a medida que aumenta la distancia con respecto a la parte alta de la microcuenca. La quebrada La Minita (E3) presentó calidad dudosa y de clase III, mientras que la quebrada Los Andes (E5) y la quebrada La Madera (E8) presentaron calidad buena y de clase I, sin embargo la parte baja de la quebrada La Madera antes de desembocar en la quebrada La Cimarronas presenta calidad muy crítica y de clase V.

Palabras clave: Calidad del agua; Mapa de calidad del agua; índice BMWP/Col; Macroinvertebrados acuáticos.

Abstract

Title: Characterization of water quality in the upper watershed La Cimarronas stream, El Carmen de Viboral (Antioquia), using aquatic macroinvertebrates.

Objective: Evaluate water quality at three periods of the hydrological cycle in the La Cimarronas stream and its major tributaries.

Materials and methods: In eight sampling stations located between the top of the watershed and its tributaries were studied aquatic macroinvertebrate fauna and physicochemical conditions of water in three different periods of the hydrological cycle (2011) and build the water quality map.

Results: We found during the three sampling periods 62 families belonging to 15 orders and a total of 3411 individuals, families outstanding in their order of abundance were Glossosomatidae, Physidae, Simuliidae and Chironomidae.

Conclusion: Certain sections of these streams are subject to contamination from domestic and agricultural sectors, which limits their conditions of use. The index BMWP / Col showed that water quality is variable, experience a deterioration of water quality with increasing distance from the top of the watershed, La Minita stream (E3) had questionable quality and class III, while Los Andes stream (E5) and La Madera stream (E8) had good quality and class I, but the bottom of La Madera stream before emptying La Cimarronas stream presents very critical quality and class V.

Keywords: Water quality; Water quality map; Index BMWP/Col; Aquatic macroinvertebrates.

¹ Estudiantes de biología, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. e-mail: janés_garcía@hotmail.com juancarlosxc@hotmail.com

² Grupo Geolimna, Escuela Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. e-mail: yimmymontoya3@hotmail.com

Fecha de recibido: Diciembre 21, 2011

Fecha de aprobación: Mayo 16, 2012

Introducción

Los métodos biológicos para determinar la calidad del agua han sido usados desde el siglo XX. Pese a esto, los estudios de la calidad del agua se han dedicado exclusivamente a las variables físicas y químicas y tan solo en los últimos años se han implementado en las investigaciones acuáticas el uso de los macroinvertebrados como indicadores de las condiciones ambientales del agua (Hawkes, 1979).

El trabajo con organismos permite evaluar las características de un sistema acuático, porque se emplean como bioindicadores, cuya presencia y abundancia señalan algún proceso o estado del sistema acuático (Pinilla, 1998). Algunas de las razones por las cuales los macroinvertebrados se utilizan para estudios limnológicos se debe a su tamaño relativamente grande (mayor de 1 mm), ciclos de desarrollo de fácil manejo para esta clase de estudios, diversidad alta que da cuenta de un amplio rango de tolerancia frente a diferentes parámetros de contaminación (Hellawell, 1986) además, su distribución espacial, abundancia y diversidad se encuentran estrechamente relacionadas con las variables hidrológicas, físicas y químicas.

Los métodos biológicos constituyen unos magníficos aliados para ahorrar y encauzar mejor los recursos disponibles en la vigilancia de la contaminación y en la gestión ambiental (Alba Tercedor, 1996). Entre las metodologías de evaluación biológica de la calidad de las aguas que pueden ser aplicadas, están los índices BMWP/Col (*Biological Monitoring Working Party*), ASPT (*Average Score per Taxon*), ETP (relación efemerópteros-tricópteros-plecópteros) e índice de dípteros. Estas metodologías son importantes para el desarrollo de investigaciones limnológicas, donde el estado de las fuentes hídricas es lo esencial.

Las experiencias en bioindicación en Colombia datan de la década de 1970 (Roldán, 2003), no obstante, el florecimiento de esta línea de trabajo se ha dado en la última década (1999-2011) con la presentación de numerosos artículos (Zúñiga, 1985; Roldán, 1999; Zamora, 1999; Mosquera *et al.* 2004; Montoya-Moreno, 2007, 2008; Arango *et al.* 2008; Montoya-Moreno *et al.* 2010, 2011) y libros (Roldán *et al.* 2001; Roldán, 2003; Álvarez, 2005).

Conocer la biodiversidad acuática, no sólo es una tarea de línea base, sino que permite realizar evaluaciones ambientales con mejor grado de resolución, porque se pueden evaluar los efectos de una obra sobre la estructura de la comunidad (Montoya-Moreno *et al.* 2010). En este contexto esta información es valiosa no solo por lo mencionado antes, sino también porque de su cauce principal se capta el agua para surtir el acueducto del área urbana del municipio de El Carmen de Viboral, que suple las necesidades hídricas de aproximadamente 30.000 personas.

El propósito de este estudio fue evaluar la calidad del agua en tres momentos del ciclo hidrológico y además elaborar el mapa de calidad del agua de la microcuenca de la quebrada La Cimarrona en el que se consideraron variables físicas, químicas, biológicas y microbiológicas.

Materiales y métodos

Área de estudio. La microcuenca de la quebrada La Cimarronas se encuentra ubicada en el municipio de El Carmen de Viboral (6°05'09" N, 75°20'19" W) oriente del departamento de Antioquia (Figura 1), entre los 1900 y 2600 msnm sobre la cordillera central de los Andes donde comienza el valle de San Nicolás. La parte alta de la microcuenca representa una de las principales fuentes de aprovisionamiento de agua para este municipio. Su precipitación promedio anual

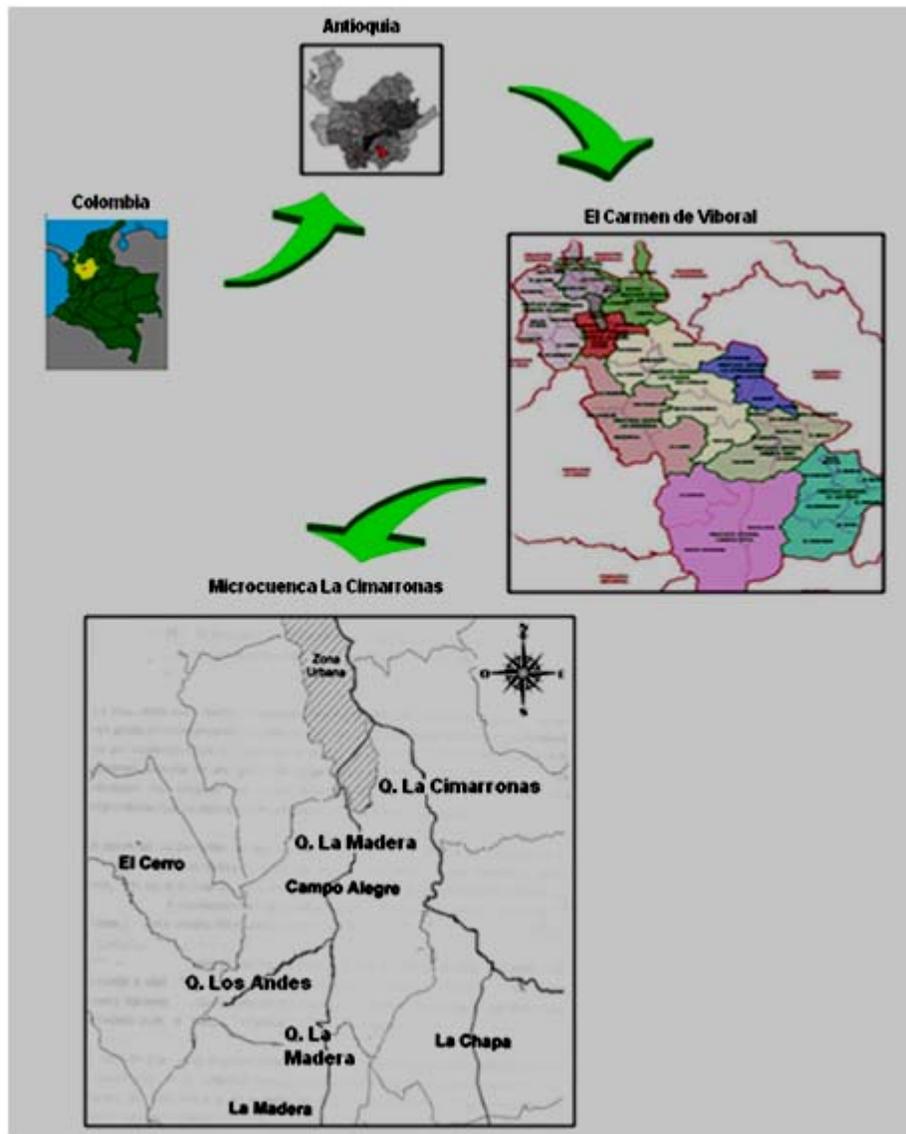


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.

oscila entre 2150 y 2235 mm y una temperatura promedio de 17°C (Acosta, 2005). Los principales afluentes de la parte alta de la microcuenca son las quebradas La Minita, Los Andes y La Madera, que se localizan en la zona de vida bh-MB (Holdridge, 1967). A lo largo de la microcuenca y de sus afluentes se encuentran múltiples intervenciones antrópicas, sobre todo asociadas con el uso del suelo en el que predominan cultivos transitorios como fríjol, maíz, arracacha, habichuela, hortalizas y pastos con fines ganaderos (Cornare-Idea-Unal, 2006).

Muestras. Se establecieron ocho estaciones de muestreos ubicadas entre la parte alta de la microcuenca y sus afluentes, que se seleccionaron con base en información levantada en campo, considerando usos del agua y del suelo, cobertura vegetal y actividades antrópicas que se desarrollan alrededor de la microcuenca. En estas estaciones se realizaron tres muestreos en los meses de febrero, marzo y mayo de 2011, teniendo en cuenta las temporadas seca, transición y húmeda del ciclo hidrológico (Figura 2). *In situ* se evaluaron variables físicas y químicas como

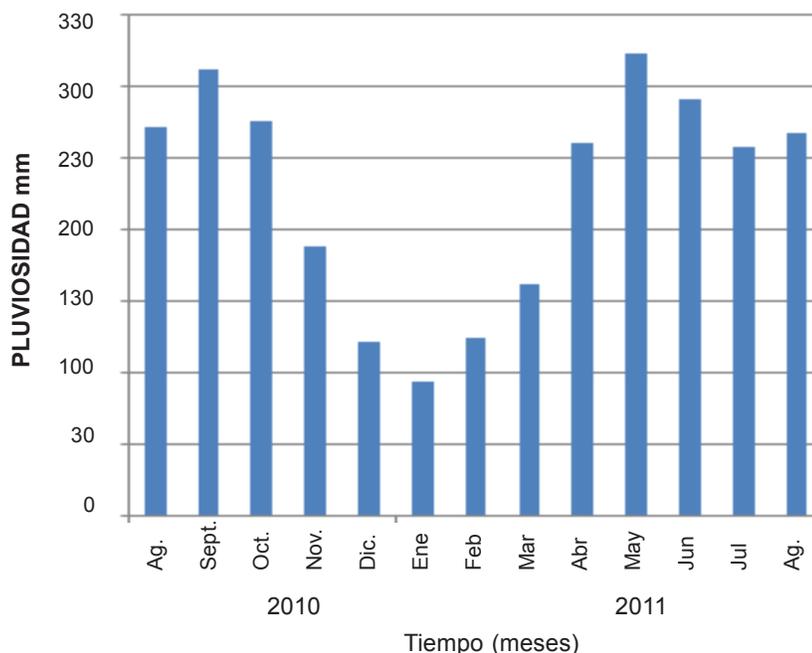


Figura 2. Registro de precipitaciones.

temperatura del agua, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno y pH. Además se tomaron muestras de agua en botellas de vidrio de 1000 ml, que fueron transportadas hasta el laboratorio de limnología de la Uni-

versidad de Antioquia, donde se utilizaron para la determinación de sólidos totales (ST) (Tabla 1). Las variables químicas como amonio, nitritos, nitratos, fosfatos y dureza total se midieron en campo por medio del método colorimétrico uti-

Tabla 1. Metodología empleada en la medición de las variables físicas, químicas y microbiológicas.

Parámetros	Técnica analítica	Unidad
Temperatura del agua	Oxímetro WTW 320	°C
Conductividad eléctrica	Conductímetro Portátil	$\mu\text{S cm}^{-1}$
Altura sobre el nivel del mar	Altímetro	msnm
Velocidad de la corriente	Lanzando una bola de icopor al agua y tomando el tiempo que esta tarda en recorrer 5 metros	m/s
Caudal (flujo)	Determinar el área de la sección (m^2), y se multiplica por la velocidad de la corriente	m^3/s
Sólidos totales (ST)	Gravimétrico	mg/l
Sustancias flotantes	Cualitativo	
Olor y color	Cualitativo	
pH	Potenciómetro Portátil escala, escala 1-14	Unidades de pH
Oxígeno disuelto	Oxímetro WTW 320	mg/l
% de saturación de oxígeno	Oxímetro WTW 320	%
Coliformes fecales	Técnica de tubos múltiples	NMP

lizando el kit *Compact Laboratory For Water Testing*; la unidad de medida de estos nutrientes fue mg/l. De forma cualitativa se tomaron datos sobre olor y coloración del agua.

Para los análisis de coliformes fecales se tomaron muestras de agua en recipientes de vidrio de 250 ml previamente esterilizados, que se transportaron al laboratorio de microbiología de la Universidad de Antioquia (EM&B-Ecología Microbiana y Bioprospección) para su posterior determinación.

Para la recolección de los macro-invertebrados se utilizó red de pantalla, red triangular y recolección manual. La intensidad de muestreo fue de 60 minutos por estación. Se realizaron batidas con las redes en todos los microhabitats identificados en el sector. La identificación de macroinvertebrados se realizó con la ayuda de las claves taxonómicas de Costa *et al.* (1988), Fernández y Domínguez (2001), Gómez *et al.* (2003), Klemm (2001), Machado (1989), McCafferty (1981), Merritt y Cummins (1996), Roldán (1988) y Wiggins (1977). Con el listado de las familias registradas se determinó el índice BMWP/Col para cada estación y cada fecha de muestreo de acuerdo con Roldán (2003).

Los datos obtenidos en los tres muestreos se sometieron a un análisis exploratorio mediante el uso de estadísticos de tendencia central (media aritmética) y de dispersión (coeficiente de variación relativa de Pearson, C.V). La asociación entre los macroinvertebrados acuáticos y las variables físicas, químicas y microbiológicas se efectuó mediante un análisis de regresión lineal múltiple. Se realizó un análisis de correspondencia canónica rectificado (DCCA) para identificar la longitud del gradiente y luego se hizo un análisis de redundancia canónica (RDA) o un análisis de correspondencia canónica (CCA) en donde se integraron los géneros más importantes, las variables evaluadas y los sitios de colec-

ta, para tratar de identificar patrones de distribución de los macroinvertebrados acuáticos. Los análisis estadísticos mencionados antes se llevaron a cabo con el paquete estadístico Statgraphics Centurion XV y Canoco 5.0.

Resultados

La pluviosidad de la microcuenca es de tipo bimodal, con máximos en mayo y septiembre y un valor mínimo en enero (Figura 2). Las variables físicas, químicas y microbiológicas presentaron valores normales para aguas corrientes (Roldán, 1992), no obstante, el caudal, la concentración de amonio y el NMP de coliformes fueron las variables que presentaron mayor variabilidad (Tabla 2). El sistema presentó buenas condiciones organolépticas (Tabla 3).

En las cuatro estaciones de muestreo de la microcuenca de la quebrada La Cimarronas durante los tres períodos de muestreo, se determinaron 38 familias pertenecientes a 13 órdenes lo que representa 73.1% de la riqueza global de familias, para un total de 1602 individuos (Tabla 4, estaciones sombreado en gris). Los grupos más representativos fueron *Diptera*, *Trichoptera* y *Basommatophora*. Siendo las familias sobresalientes en su orden de abundancia *Glossosomatidae*, *Physidae*, *Simuliidae* y *Chironomidae* que presentan valores del 26.5%, 20.3%, 18.8% y 17.4% respectivamente. Además, fueron las familias presentes en la mayoría de estaciones a lo largo de la investigación.

En las cuatro estaciones de muestreo de los afluentes de la parte alta de la quebrada La Cimarronas se determinaron 42 familias pertenecientes a 14 órdenes lo que representa 80.8% de la riqueza global de familias para un total de 1809 individuos (Tabla 4, estaciones sin sombreado).

Se observó la formación de tres grupos con base en las familias de macroinvertebrados acuáticos

Tabla 2. Valores de las variables fisicoquímicas y microbiológica.

	Temp °C	Conduc µS/cm	Sólidos mg/l	Caudal m³/s	Amonio mg/l	Nitratos mg/l	Nitritos mg/l	Fosfatos mg/l	Dureza total mg/l	pH	OD mg/l	% OD	NMP ufc/100 ml
E1 FEB	14,2	46,6		0,917	0	10	0	0,25	33,07	6,3	6,7	78	240
E2 FEB	14,9	45,3		0,51	0	10	0	0,25	28	6,3	6,11	78,5	2400
E3 FEB	14,5	37		0,188	0	10	0	0	11,2	6,5	6,18	78,8	240
E4 FEB	14,7	49,6		0,325	0	10	0	0,25	28	6,6	6,18	78,9	2400
E5 FEB	14,1	35		0,099	0	5	0	0,25	22,4	6,5	6,24	79,4	1100
E6 FEB	17	87		0,35	0,1	10	0	0,25	16,8	6,6	5,63	71	1100
E7 FEB	17	106		0,932	0,6	25	0	0,5	22,4	6,4	5,68	78,6	2400
E8 FEB	13,8	23		0,093	0	10	0	0	22,4	6,7	7,98	75,6	460
E1 MAR	16,5	31	66,6	0,212	0	10	0	0,25	33,7	6,8	5,82	78	93
E2 MAR	18	47,6	96	0,583	0,2	10	0	0,25	44,94	6,8	5,96	82	460
E3 MAR	20,7	35,4	84	0,341	0	10	0	0,5	22,47	6,6	5,79	78,6	460
E4 MAR	17	45,6	102,5	0,88	0,2	10	0	0,25	28,08	6,8	6,1	82,2	2400
E5 MAR	20,7	28	78,5	0,163	0,2	10	0	0,25	28,08	6,7	5,69	77	2400
E6 MAR	20,2	86	129,2	0,338	0,2	10	0	0,25	22,47	6,8	5,02	73,4	2400
E7 MAR	21,1	95	13	1,292	0,6	10	0	0,25	39,32	6,8	4,93	71,8	2400
E8 MAR	16,4	29,4	64,2	0,083	0,2	10	0	0,25	16,85	6,9	5,45	73	140
E1 ABR	16,7	29	74	0,306	0	25	0	0,25	22,47	6,4	6,4	83,9	150
E2 ABR	17	40,4	6	0,792	0,2	25	0	0,25	33,7	6,5	6,56	89	460
E3 ABR	17	32,5	98,3	0,247	0	25	0	0,25	44,94	6,6	6,5	98,7	460
E4 ABR	16,7	37,7	86	1,146	0,2	10	0	0,25	61,79	6,5	6,39	86,1	460
E5 ABR	18,1	27,6	76	0,241	0,2	10	0	0,25	67,41	6,1	6,7	89,7	460
E6 ABR	20,3	75	191	0,655	0,4	25	0	0,5	89,88	6,7	5,77	83,5	2400
E7 ABR	20,1	69,3	76	1,831	0,4	25	0	0,25	95,5	6,5	6,11	87,8	2400
E8 ABR	17	23,8	74	0,119	0,2	10	0	0,25	83,7	6,7	6,7	89,7	93
Media	17,37	48,53	82,21	0,51	0,17	13,7	0	0,261	38,54	6,6	6,082	81,1	1206
Desviac	2,275	24,32	41,88	0,449	0,18	6,83	0	0,116	23,9	0,2	0,626	6,65	1007
CV	13,1	50,12	50,95	88,03	108	49,9		44,5	62,01	2,97	10,29	8,2	83,47

encontradas en cada estación. En primer lugar se encuentran las estaciones 6 y 7 con una similitud aproximada de 83%. Estas estaciones son las que presentaron mayor grado de deterioro de calidad del agua, debido a una intervención antrópica alta, porque a estas fuentes hídricas las enmarca en su gran mayoría la zona urbana de este municipio; la estructura de la comunidad acuática en estas zonas son las más idénticas. El segundo grupo se localizan las estaciones 1, 2, 3 y 4 con una similitud aproximada de 58%, presentaron aguas ligeramente contaminadas, con intervención antrópica mediana. En el tercer gru-

po se encuentran las estaciones con menor grado de contaminación orgánica, estas son las estaciones 5 y 8 las cuales arrojaron un porcentaje de similitud del 50%; estas estaciones presentaron aguas muy limpias con poca intervención antrópica, por lo cual su estructura de macroinvertebrados es similar (Figura 3).

En la Tabla 5 se presenta la clasificación de la parte alta de la microcuenca La Cimarronas y sus afluentes, con base en el índice BMWP/Col. A partir de los resultados de este índice la microcuenca de la quebrada La Cimarronas y sus

Tabla 3. Aspectos físicos visuales que afectan la calidad del agua.

Estación	Olores	Escorrentías de cultivos y pastos	Basuras en la corriente	Captación de agua acueducto municipal	Vertido de aguas residuales de explotaciones pecuarias	Vertido de aguas residuales domésticas	Presencia de espumas (visual)	Hojas y ramas retenidas entre las piedras	Puente o carretera	Lavadero de carros
E1										
E2										
E3										
E4										
E5										
E6										
E7										
E8										

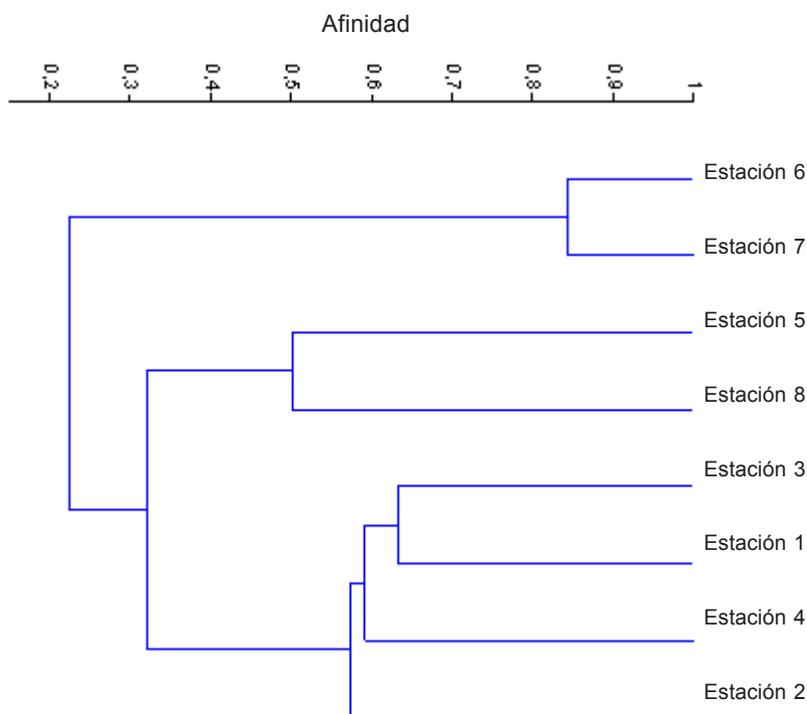


Figura 3. Diagrama de agrupamiento de acuerdo con la composición y estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en las ocho estaciones de muestreo, mediante el índice de afinidad de Bray-Curtis (1957).

Tabla 4. Composición y estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos de la parte alta de la quebrada La Cimarronas y de sus afluentes.

Orden	Familia	Género	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Odonata	Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>	10	1	3	2	29			28	
	Aeshnidae	<i>Coryphaeshna</i>	1								
	Libellulidae	<i>Macrothemis</i> <i>Dythenis</i>	1							1	
	Polythoridae	<i>Polythore</i>								3	
Basommatophora	Lymnaeidae	<i>Lymnaea</i>	1			6		12	1	2	
	Planorbidae	<i>Drepanotrema</i>	18	2	1	1				8	
	Physidae	<i>Physa</i>		16	2	42	1	214	267		
	Ancylidae	<i>Ferrissia</i>							1		
Trichoptera	Glossosomatidae	<i>Mortoniella</i>	188	87	110	149	115			66	
		<i>Protoptilia</i>					1				
	Hydrobiosidae	<i>Atopsyche</i>					1				
	Hydroptilidae	<i>Ochrotrichia</i>				3					
		<i>Hydroptila</i>								1	
	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	9				258			81	
	Calamoceratidae	<i>Phylloicus</i>					13			77	
	Leptoceridae	<i>Triplectides</i>				1	1				
	Helicopsychidae	<i>Helicopsyche</i>	2				2				
	Odontoceridae	<i>Psilotreta</i>								3	
Diptera	Simuliidae	<i>Simulium</i>	66	26	37	209	35	6		6	
	Chironomidae	Sp 1	75	67	30	67	3	74	70	21	
	Muscidae	<i>Limnophora</i>	5		1						
		Sp2	1								
		<i>Lispe</i>				1					
	Tipulidae	<i>Tipula</i>	2	2	2		1		1	1	
		<i>Molophilus</i>	2		2						
	Psychodidae	<i>Maruina</i>		2							
	Ephydriidae	Sp 3		1							
	Culicidae	Sp 4		4		3		25	18		
Coleoptera	Lampyridae	Sp 5	1			1	2				
	Hydrophilidae	<i>Tropisternus</i>	1				1				
		<i>Berosus</i>						1			
	Psephenidae	<i>Psephenops</i>		2							
	Carabidae	<i>Chlaenius</i>				1					
	Ptilodactylidae	<i>Anchytarsus</i>	2				4			39	
	Elmidae	<i>Cylloepus</i>	1		2		4				11
		<i>Macrelmis</i>									2
		<i>Oulimnius</i>						1			
		<i>Heterelmis</i>						5			
Staphylinidae	Sp6	1			1	3					
Dryopidae	<i>Elmoparnus</i>								1		
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetodes</i>	20	9	1	12	25	43	33	20	
		<i>Moribaetis</i>				1					
		<i>Dactylobaetis</i>		1	2						
		<i>Baetis</i>					3				
	Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i>	2							2	
Tricorythidae	<i>Leptohyphes</i>					8					
Haplotaaxida	Naididae	Sp 7		7							
	Aelosomatidae	<i>Aelosoma</i>	18	6	24	8	22	42	11		
	Tubificidae	<i>Tubifex</i>	5		7	4					
Collembola	Isotomidae	<i>Isotomurus</i>			3						
		<i>Archistoma</i>			1						
		<i>Isotoma</i>			1						
	Entomobryidae	Sp8	1	2	1		2				
		<i>Entomobrya</i>					1				
Poduridae	<i>Lepidocyrtus</i> <i>Podura</i>			1					1		

Tabla 4. Composición y estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos de la parte alta de la quebrada La Cimarronas y de sus afluentes (continuación).

Orden	Familia	Género	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Lepidoptera	Cossidae	<i>Robinia</i> <i>Prionoxytus</i>	2			2				1
	Pyralidae	Sp9 <i>Petrophila</i>					2			3
	Noctuidae	<i>Archanara</i>	1				2			8
Veneroidea	Sphaeriidae	<i>Sphaerium</i>	1							
Hemiptera	Veliidae	<i>Rhagovelia</i>					38			106
		<i>Stridulivelia</i>				4			35	
	Gerridae	<i>Trepobates</i>					7			7
		<i>Eurygerris</i>								4
	Mesoveliidae	<i>Limnogonus</i> <i>Mesovelia</i>					3			2
Saldidae	<i>Micracanthia</i>			1				1		
Tricladida	Sin identificar (s.i)	Sp10	8		2	2	7	2		1
Amphipoda	Hyalellidae	Sp 11								2
Decapoda	Pseudothelphusidae	Sp12					1			1
Acari	s.i	Sp 13			5	3	2			
Número de géneros			28	16	22	21	35	8	9	31
Número de familias			26	15	18	19	27	8	9	26
Número de ordenes			11	8	11	10	13	5	5	12
Número total de individuos			445	235	239	519	608	418	403	544

Las celdas sombreadas pertenecen a la microcuenca de la quebrada La Cimarronas.

afluentes presentan una calidad biológica del agua que va desde muy crítica (E6 y E7) hasta calidad buena (E5 y E8), además se puede observar cambios en la calidad del agua durante los diferentes períodos de muestreo, asimismo las estaciones E5 y E8 mantuvieron una calidad buena del agua durante toda la investigación. Otras estaciones como la E2, E3 y E4 desmejoraron su calidad del agua conforme a los períodos de muestreo (Figura 4).

En la microcuenca de la quebrada La Cimarronas el índice BMWP/Col varió en promedio entre un valor de 17 que corresponde a aguas muy contaminadas (E7) y 72 aguas ligeramente contaminadas (E1). En los afluentes de la microcuenca este índice varió entre 15 aguas muy contaminadas (E6) y 124 aguas no contaminadas (E8). Al realizar el ACC el porcentaje de la varianza explicada fue del 40,6%, en el primer eje canónico se registraron la conductividad eléctrica, el caudal y los coliformes totales relacio-

nados de manera positiva y negativamente, la concentración de oxígeno disuelto (Figura 5). Respecto al segundo eje canónico, la concentración de nitrógeno amoniacal y la conductividad afectaron de manera positiva y de forma negativa la concentración de nitratos y los sólidos totales.

De acuerdo con el índice ASPT, la estación E8 tiene aguas clase II, aceptable (ligeramente contaminadas), las estaciones E1, E2, E3, E4 y E5 tienen agua clase III, dudosa (aguas moderadamente contaminadas), la estación E7 tiene aguas clase IV, crítica (aguas muy contaminadas) y la estación E6 tiene aguas clase V, muy crítica (aguas fuertemente contaminadas). Estos valores de clase de aguas para cada estación no son congruentes con los obtenidos con el BMWP/Col ya que este último arroja valores con mejor calidad del agua; se podría especular que el índice ASPT es más sensible a la intervención antrópica para la parte alta de esta microcuenca.

Tabla 5. Valores del índice BMWP/Col para cada estación durante los tres muestreos.

Estación	Muestreo 1				Muestreo 2				Muestreo 3			
	BMWP/Col	Calidad	Clase	Color	BMWP/Col	Calidad	Clase	Color	BMWP/Col	Calidad	Clase	Color
E1	83	Aceptable	I		56	Dudosa	III		77	Aceptable	I	
E2	62	Aceptable	I		28	Critica	IV		35	Critica	IV	
E3	42	Dudosa	III		44	Dudosa	III		34	Critica	IV	
E4	66	Aceptable	II		51	Dudosa	III		33	Critica	IV	
E5	131	Buena	I		111	Buena	I		101	Buena	I	
E6	15	Muy critica	V		30	Critica	IV		1	Muy critica	V	
E7	23	Critica	IV		20	Critica	IV		9	Muy critica	V	
E8	126	Buena	I		123	Buena	I		123	Buena	I	

Las estaciones sombreadas de gris corresponden a la quebrada La Cimarronas.

Tabla 6. Índices ASPT, ETP e índice de dípteros para las ocho estaciones de muestreo.

Estación		ASPT	Índice ETP
E1	Feb.	6.3	0.3
	Mar.	5.0	0.4
	May.	6.4	0.5
E2	Feb.	5.1	0.1
	Mar.	4.6	0.7
	May.	5.0	0.5
E3	Feb.	5.2	0.4
	Mar.	4.9	0.5
	May.	3.8	0.5
E4	Feb.	5.5	0.2
	Mar.	5.1	0.4
	May.	4.7	0.5
E5	Feb.	6.5	0.7
	Mar.	6.9	0.7
	May.	6.3	0.6
E6	Feb.	3.0	0.0
	Mar.	4.2	2
	May.	1.0	0.0
E7	Feb.	3.8	0.1
	Mar.	4.0	0.0
	May.	2.3	0.0
E8	Feb.	7.0	0.4
	Mar.	7.2	0.5
	May.	7.2	0.3

Es de resaltar que estos dos índices están estrechamente relacionados, sin embargo, en esta investigación, los valores de calidad del agua arrojados por los dos índices son diferentes como se citó antes (Tabla 6).

El índice de Diptera, cuyos mayores valores indican contaminación del agua por materia orgánica, mostró un patrón de incremento hacia las partes bajas de la microcuenca, en concordancia el mayor NMP de coliformes fecales. Coincidiendo con lo anterior, el índice ETP mostró sus valores más bajos en las estaciones que tienen más influencia de aguas residuales por estar en la parte baja de la microcuenca.

Discusión

Según el Decreto 1594 de 1989, Capítulo IV, las estaciones E6 y E7 tienen restricciones para ser usadas como aguas para potabilizar, aún con tratamiento convencional; también presentan restricciones para recreación de contacto primario y secundario, riego de frutas que se consuman sin quitar las cascara y de hortalizas de tallo corto, debido a la carga alta de coliformes fecales.

Se encontró una fauna de macroinvertebrados muy rica, debido a la buena calidad de las aguas

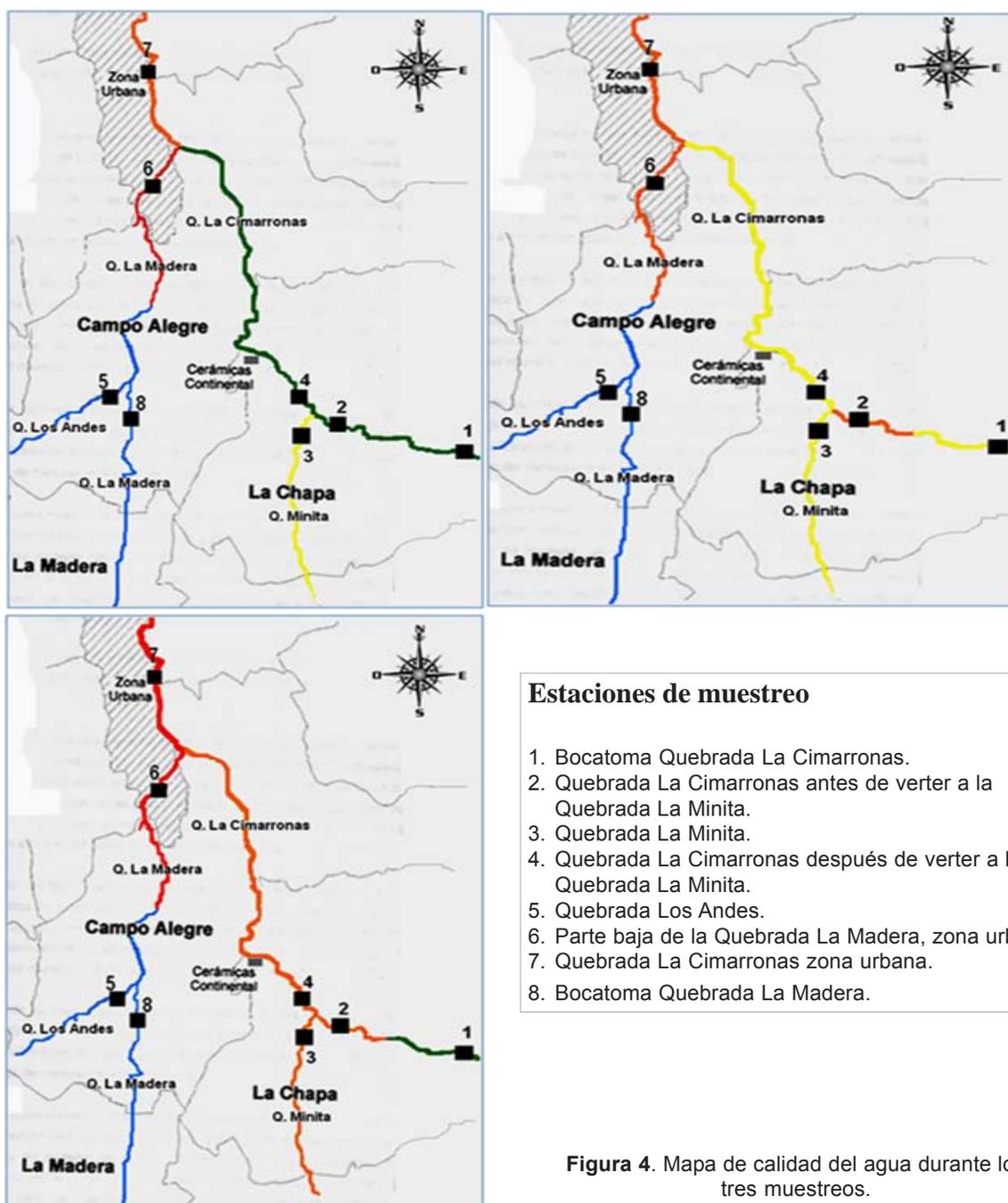


Figura 4. Mapa de calidad del agua durante los tres muestreos.

de algunas estaciones y a la amplia oferta de biotopos que ofrece esta microcuenca, lo que permite desarrollar a las asociaciones de macroinvertebrados en la parte alta de este ecosistema, porque la calidad del agua, la disponibilidad de alimento y las características del sustrato, son los

principales factores que gobiernan la abundancia y distribución de macroinvertebrados acuáticos (Merritt y Cummins, 1996). Algunos géneros del orden Trichoptera fueron los dominantes a lo largo de la investigación porque es uno de los órdenes más diversificado en las aguas dulces (Fernández y Domínguez, 2001).

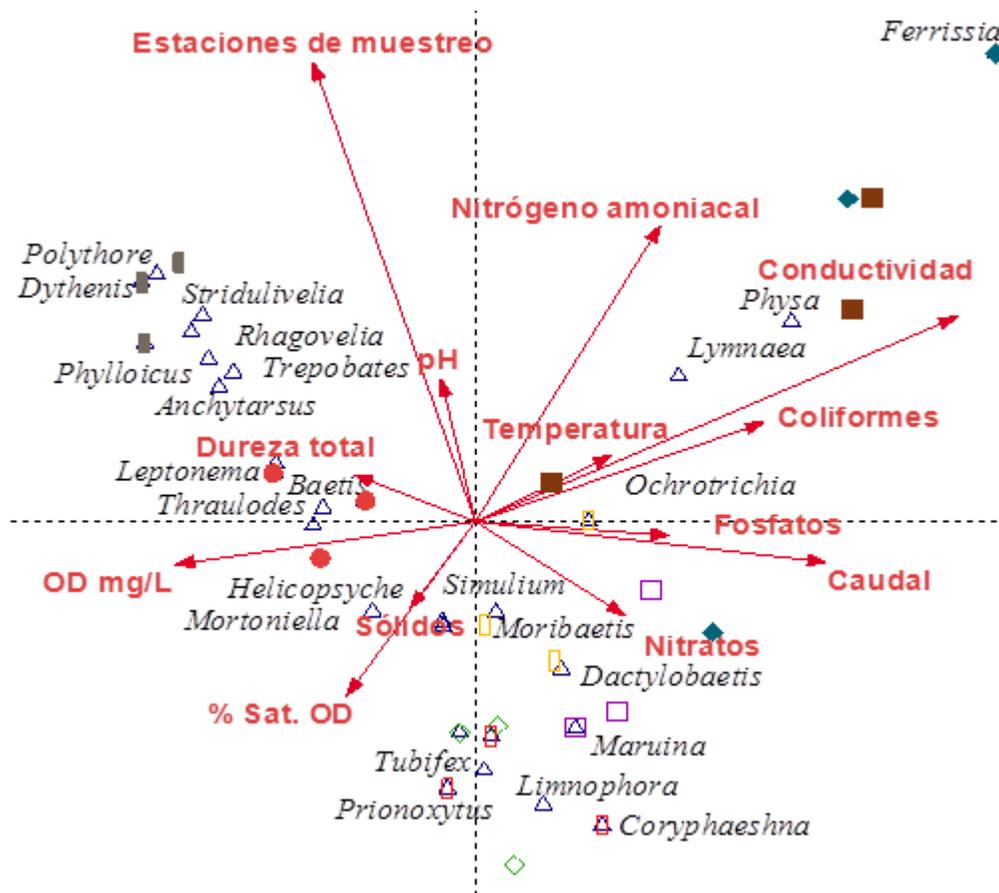


Figura 5. Organización de los muestreos, las variables ambientales y los grupos de macroinvertebrados acuáticos predominantes.

Las figuras representan las estaciones de muestreo: E1 E2 E3 E4 E5 E6 E7 E8

El ACC permitió identificar que a nivel de género se pudo resaltar un grupo de organismos indicadores de contaminación, tales como *Physa* sp, *Lymnaea* sp, *Ferrissia* sp. *Dactylobaetis* se ubica muy cerca de la concentración de nitratos, la cual es una relación que debería estudiarse a fondo, con el fin de ratificarla o no, porque en general se ha asumido que los efemerópteros son organismos de aguas limpias. La gran mayoría de los géneros de macroinvertebrados se agruparon en torno a las estaciones de muestreo y la concentración de oxígeno disuelto. Otra relación para estudiar se presenta con el género *Ochrotrichia*, porque se relacionó con la concentración de fosfatos, lo cual contradice la tendencia a considerarlo como bioindicador de aguas limpias.

Entre las causas que generan baja diversidad en las estaciones E6 y E7 se encontró la contaminación en estas zonas y los tipos de sustratos, porque estos son principalmente arenosos de aluvión y arcilla característicos de las partes bajas de las quebradas; estos tipos de sustratos son muy pobres en fauna béntica, porque son un medio muy inestable para su establecimiento (Roldán, 1992).

El valor promedio del índice BMWP/Col para toda la microcuenca fue de 45, que de acuerdo con los criterios determinados en Roldán (2003) indica condiciones de aguas moderadamente contaminadas, lo que evidencia un aumento en la presión sobre las aguas, porque en el estudio de Acosta (2005) el valor promedio para las aguas

de la microcuenca La Cimarronas fue de 216 aguas muy limpias. Con respecto a algunos afluentes como La Madera también se evidencia una disminución considerable en el índice BMWP/Col, ya que para este estudio se obtuvo un valor de 124 mientras que en Acosta (2005) fue de 205 presentado una reducción en el índice, mas no en la calidad del agua debido a que en ambos estudios la calidad de esta fue buena dando cuenta de aguas no contaminadas; lo mismo ocurrió en la quebrada Los Andes donde la calidad del agua no varió al ser comparado con los estudios realizados por Acosta (2005) y Montoya-Moreno (2008), debido a que en todos estos estudios presentaron aguas no contaminadas.

Se observa una tendencia del deterioro de la calidad del agua de la microcuenca y de sus afluentes, que es evidente al revisar estudios anteriores en estas mismas microcuencas, como los de Acosta (2005) y Montoya-Moreno (2008).

En general, las fuentes de agua que son empleadas para abastecer el acueducto de la zona urbana del municipio de El Carmen de Viboral tienen buena calidad biológica y fisicoquímica, aunque en los últimos años ha desmejorado, por lo que urge adelantar acciones para el mejoramiento de las condiciones del agua.

Literatura citada

- Acosta A. 2005. *Evaluación de la calidad del agua de las microcuencas El Cerro, La Madera y La Chapa, en el municipio del Carmen de Viboral, departamento de Antioquia, utilizando macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos*. Tesis de pregrado, Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Católica de Oriente, Medellín. p. 71.
- Alba-Tercedor J. 1996. *Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos*. IV Simposio de Agua de Andalucía Almería [internet], 2: 203-213. Fecha de acceso 2011 enero 10. Disponible en: http://www.famu.org/mayfly/pubs/pub_a/pubal baj1996p203.pdf
- Álvarez LF. 2005. *Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Instituto Alexander von Humboldt. 138 pp. Fecha de acceso 2012 noviembre 12. Disponible en: www.humboldt.org.co/download/andes/IAVH-00624.pdf
- Arango MC, Álvarez LF, Arango GA, Torres OE, Monsalve A. 2008. Calidad del agua de las quebradas La Cristalina y La Risaralda, San Luis, Antioquia. *Rev EIA*. 9: 121-41.
- Cornare-Idea-UN. 2006. *Plan de ordenación y manejo de la cuenca La Cimarronas, municipio de El Carmen de Viboral*. Medellín: Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los ríos Negro y Nare (Cornare), Instituto de Estudios Ambientales (Idea-UN), Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. p. 197.
- Costa C, Vanin SA, Casari-Chen SA. 1988. *Larvas de Coleoptera do Brasil*. Museu de Zoología, Universidade de São Paulo, Brasil.
- Fernández HR, Domínguez E. (eds.). 2001. *Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos*. Tucumán: Ed. Universitaria de Tucumán.
- Gómez MI, Álvarez LF, Roldán G, Velásquez DP, Peláez E. 2003. *Determinación de los valores de bioindicación de los moluscos de agua dulce y taxonomía de la familia Hydrobiidae (Gastropoda: Rissoidea) en Colombia*. Medellín: Universidad Católica de Oriente.
- Hawkes HA. 1979. Invertebrates as indicators of river quality. En: James, A. *Biological indicators of water quality*. New York: Ediciones John Wiley & Sons. p. 1-45.
- Hellawell J. 1986. *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management*. London, New York: Ed. Elsevier Applied Science. p. 546.
- Holdridge L. 1978. *Ecología basada en las zonas de vida*. San José: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.
- Klemm DJ. 2001. *Identification guide to the Freshwater Leeches (Annelida: Hirudinea) of Florida and other Southern States*. EPA. Fecha de consulta, junio de 2002. <http://www.inhs.uiuc.edu/~mjwetz el/AOGSMNP.litcit.html>
- Machado T. 1989. *Distribución ecológica e identificación de los coleópteros acuáticos en diferentes pisos latitudinales del departamento de Antioquia*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Mc Cafferty WP. 1981. *Aquatic entomology*. Boston: Science Books International.
- Merritt RW, Cummins KW. 1996. *An introduction to the aquatic insects of North America*. 3rd ed. Iowa: Kendall/Hunt Publishing Company.
- Montoya-Moreno Y. 2007. Evaluación de la biodiversidad

- de insectos acuáticos y de calidad fisicoquímica y biológica del Río Negro (Antioquia-Colombia). *Rev Universidad Católica de Oriente*. 23: 70-87.
- Montoya Y, Acosta Y, García A, Zuluaga E. 2008. *Caracterización del recurso hídrico del Río Negro en Antioquia*. Informe técnico. Medellín: Universidad Católica de Oriente. p.126.
- Montoya-Moreno Y. 2008. Caracterización de la biodiversidad acuática y de la calidad de las aguas de la quebrada Los Andes, El Carmen de Viboral, Antioquia. *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó: Investigación, Biodiversidad y Desarrollo*. 27 (1): 85-91.
- Montoya-Moreno Y, Aguirre N, Caicedo O, Palacio J. 2010. Dinámica multianual de los macroinvertebrados acuáticos bentónicos en la Quebrada Vegas de la Clara. *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó: Investigación, Biodiversidad y Desarrollo*. 29 (2): 201-210.
- Montoya-Moreno Y, Acosta GY, Zuluaga E, García A. 2011. Evolución de la calidad del agua en el río negro y sus principales tributarios empleando como indicadores los índices ICA, el BMWP/COL y el ASPT. *Caldasia*. 33 (1): 97-114.
- Mosquera Z, Rivas C, Asprilla S. 2004. *Calidad ecológica de las aguas de la parte media del río Cabí (Quibdó-Chocó) utilizando los macroinvertebrados como indicadores*. VI Seminario Colombiano de Limnología. 81 pp.
- Pinilla G. 1998. *Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia*. Bogotá: Centro de Investigaciones Científicas, Fundación Universitaria Jorge Tadeo Lozano. p. 67.
- Roldán G. 1988. *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia*. Bogotá, Medellín: Fondo FEN-Colombia, Colciencias, Universidad de Antioquia.
- Roldán G. 1992. *Fundamentos de limnología neotropical*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.
- Roldán G. 1999. Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Rev Acad Colomb Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 23 (88): 375-87.
- Roldán G, Posada J, Gutiérrez JC. 2001. Estudio limnológico de los recursos hídricos del parque de Piedras Blancas. *Revista Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. Colección Jaime Álvarez Lleras N° 9. p. 1-137.
- Roldán G. 2003. *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.
- Wiggins GB. 1977. *Larvae of the North American Caddisfly Genera (Trichoptera)*. Toronto: University of Toronto.
- Zamora GH. 1999. Adaptación del índice BMWP para la evaluación biológica de la calidad de las aguas epicontinentales en Colombia. *Rev Unicauca*. 4 (1): 47-60.
- Zuñiga MC. 1985. Estudio de la ecología del río Cali con énfasis en su fauna bentónica como indicador biológico de calidad. *Ainsa*. 8 (1): 63-85.