

# EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LAS MICROCUENCAS LA LAUCHA, LA LEJÍA Y LA RASTROJERA UTILIZANDO LOS MACROINVERTEBRADOS COMO BIOINDICADORES, MUNICIPIO DE DURANIA, DEPARTAMENTO NORTE DE SANTANDER, COLOMBIA

Por

Jairo Contreras<sup>1</sup>, Gabriel Roldán<sup>2</sup>, Alexandra Arango<sup>3</sup> & Luisa Fernanda Álvarez<sup>4</sup>

## Resumen

**Contreras J., G. Roldán, A. Arango & L.F. Álvarez:** Evaluación de la calidad del agua de las microcuencas La Laucha, La Lejía y La Rastrojera, utilizando los macroinvertebrados como bioindicadores, Municipio de Durania, Departamento Norte de Santander, Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **32**(123): 171-193, 2008. ISSN 0370-3908.

Entre junio y septiembre de 2004 se realizó un estudio limnológico en seis estaciones ubicadas en las microcuencas La Laucha (E1), La Lejía (E2, E3 y E6) y La Rastrojera (E4 y E5) del Municipio de Durania, Departamento Norte de Santander. El objetivo principal del estudio fue evaluar la calidad del agua en las microcuencas antes mencionadas utilizando macroinvertebrados como bioindicadores. Para los parámetros físicoquímicos y microbiológicos se tomó una muestra simple en cada estación. Los resultados obtenidos se correlacionaron con las variables biológicas y se puede concluir que la estación 5, la más cercana a la zona urbana de Durania, es la que presenta mayor contaminación, principalmente por materia orgánica y que las estaciones pertenecientes a las zonas de ritral son las menos contaminadas. Esto se corrobora con el análisis de similitud realizado. El resultado final de este estudio mostró que las estaciones 1, 2, 3, 4 y 6 presentan condiciones que pueden clasificarse como de aguas muy

1 Auxiliar de Investigación Laboratorio de Limnología, Trabajo de grado, Universidad Católica de Oriente, jcontreras@gmail.com

2 Director Sistema de Investigación y Desarrollo, Universidad Católica de Oriente, grolدان@uco.edu.co

3 Profesora de limnología, Universidad Católica de Oriente. aarango@uco.edu.co

4 Jefe de la Unidad de Gestión Ambiental, Universidad Católica de Oriente, lalvarez@uco.edu.co

limpias a limpias y la estación 5 como de aguas muy contaminadas.

**Palabras clave:** bioindicadores, macroinvertebrados, calidad del agua, microcuenca, Durania Colombia.

### Abstract

From June to September 2004 a water research was carried out in six stations that are located at the following microbasins: La Laucha (S1), La Lejía (S2, S3 and S6), and La Rastrojera (S4 and S5), those microbasins are localized at the Durania municipality in Norte de Santander department. This study was carried out in order to evaluate water quality at the microbasins above mentioned using macroinvertebrates as bioindicators. For physical, chemical and microbiological parameters a sample was taken at each station. The results were correlated with biologic parameters and it may be concluded that the station 5 closer to the town of Durania is the most polluted by organic matter and that those stations that belong to the rural zone are less contaminated. The final result showed that the stations 1, 2, 3, 4 and 6 have conditions that can be classified as very clear to clear water and station 5 presents high contamination level.

**Key words:** bioindication, macroinvertebrates, water quality, microbasins, Durania, Colombia.

### Introducción

Los organismos vivos que habitan los cuerpos de agua presentan adaptaciones a determinadas condiciones ambientales y ciertos límites de tolerancia a la contaminación. Existen varias metodologías que utilizan una amplia variedad de organismos como bioindicadores de la calidad del agua. La que más utilidad ha demostrado por la facilidad de las capturas y por reflejar posibles alteraciones en el medio, es la que incluye los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua (Alba-Tercedor, 1996; Roldán, 2003). El término macroinvertebrado acuático incluye todos aquellos organismos que por su tamaño relativamente grande, son retenidos por redes de ojo de malla entre 250-300  $\mu\text{m}$ . La gran mayoría de estos (alrededor del 80%), corresponden a grupos de artrópodos, y dentro de estos los insectos, son los más abundantes (Alba-Tercedor, 1996; Roldán, 1988). En la presente investigación se utilizó el método BMWP (Biological Monitoring Working Party), el cual ha sido adoptado por la Comunidad Europea para el monitoreo de sus corrientes y que ha sido adaptado para Colombia bajo el nombre de BMWP/Col por Roldán (2003).

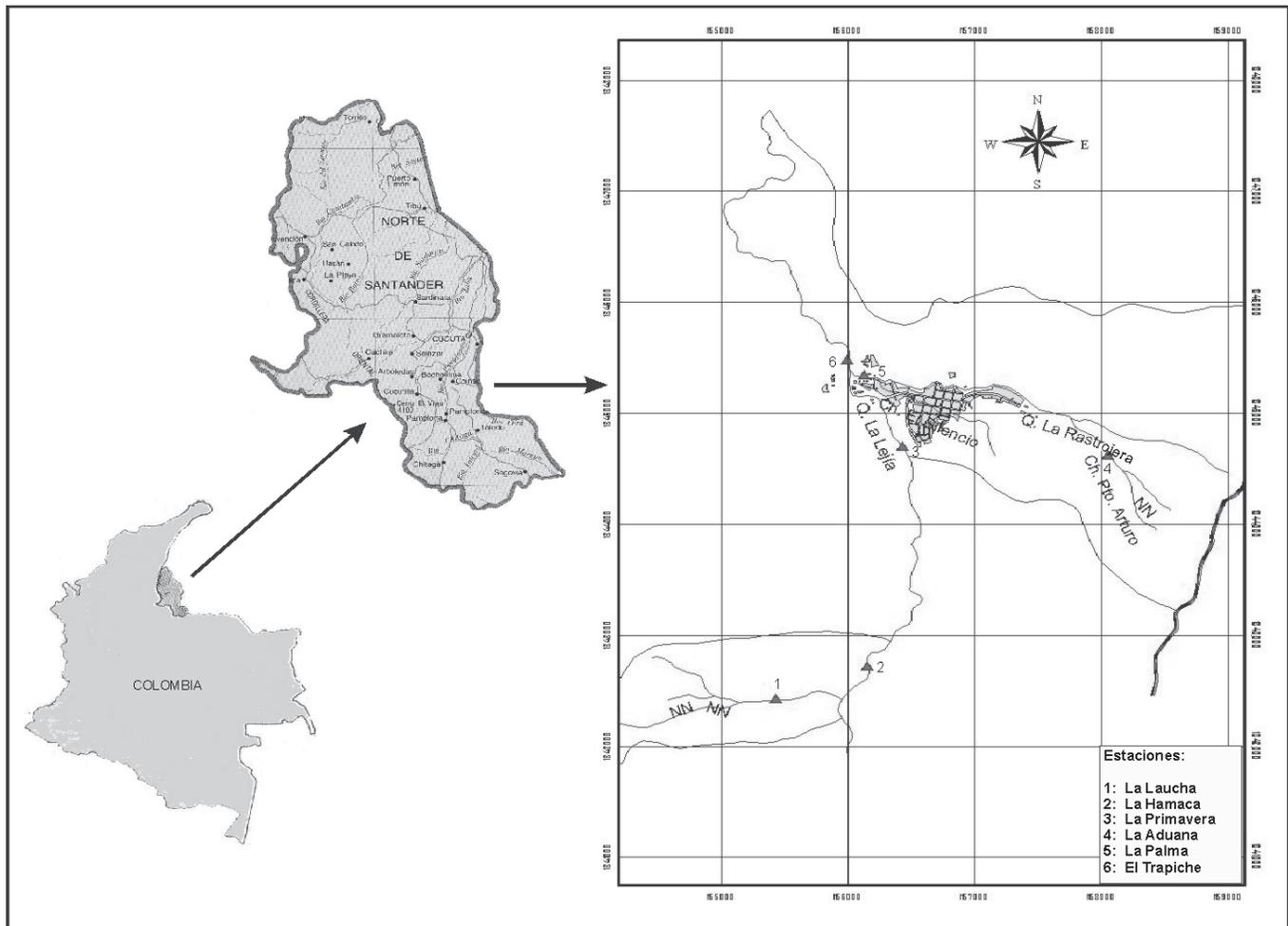
Las metodologías de estudio y seguimiento de la calidad del agua están basadas casi exclusivamente en análisis fisicoquímicos. El gran incremento de nuevos productos contaminantes, así como el hecho de que son vertidos son generalmente puntuales en el tiempo necesita de nuevas metodologías. Las técnicas que utilizan los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad han mostrado su total eficacia en la detección de puntos de alteración (Alba-Tercedor, 1996).

En el presente estudio se muestrearon seis estaciones ubicadas en tres microcuencas: La Laucha, La Lejía y La Rastrojera ubicadas en el municipio de Durania Departamento de Santander, Colombia, utilizando métodos de captura cuantitativos y cualitativos para los parámetros biológicos. Se midieron igualmente parámetros fisicoquímicos como: oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, temperatura, pH, nitritos, fosfatos y conductividad, entre otros; en la parte microbiológica se hizo un recuento de microorganismos mesófilos, NMP de coliformes totales y coliformes fecales. En el presente estudio se presenta un mapa de calidad del agua de los sistemas lóticos teniendo en cuenta criterios físicos, químicos y biológicos.

### Área de estudio

El municipio de Durania se encuentra localizado en el centro del Departamento Norte de Santander, en la Provincia de Ricaurte; su relieve es esencialmente montañoso y está enclavado en la Cordillera Oriental. Es región de 177,40  $\text{km}^2$  (0,79% del total del Departamento), su cabecera municipal dista de la ciudad de Cúcuta 47 km. Está ubicado a  $7^{\circ}43'$  de latitud N y a  $73^{\circ}40'$  de longitud W. Su altura sobre el nivel del mar es de 950 m; tiene una precipitación promedio anual de 1.300 mm y la distribución de las lluvias es bimodal con una temperatura promedio de  $24^{\circ}\text{C}$ , lo que corresponde a una zona de vida de bosque húmedo Premontano (bh-PM) (Planeación Municipal Durania 2003-2015) (Figura 1).

**Quebrada La Laucha:** nace en la Vereda Buenavista y es la que surte de agua al municipio, en ésta se encuentra ubicada la



**Figura 1.** Localización del área de estudio. **A.** República de Colombia, Departamento Norte de Santander. **B.** Departamento Norte de Santander, Municipio de Durania. **C.** Municipio de Durania, Estaciones de muestreo: 1. La Laucha; 2. La Hamaca; 3. La Primavera; 4. La Aduana; 5. La Palma; y 6. El Trapiche.

estación 1 (La Laucha) (Figura 1), cuyas coordenadas planas son X: 1.155.424 y Y: 1.342.425. En su ribera presenta vegetación nativa; en su cauce hay formaciones de pequeñas cascadas, rápidos y remansos (con abundante material vegetal y lodo) y las orillas están cubiertas con musgos y algas; su lecho está compuesto de piedras de tamaño pequeño.

**Quebrada La Lejía:** nace en las veredas Santa Elena y Sepulturas, recorre la Vereda de Buenavista y el casco urbano de sur a norte. Es empleada como sitio de esparcimiento y recreación. En ésta se encuentran las estaciones 2 (La Hamaca), 3 (La Primavera) y 6 (El Trapiche). Las coordenadas de la estación 2 son X: 1.156.150 y Y: 1.342.718. Se caracteriza por presentar en su ribera vegetación nativa y buena penetración de los rayos solares; en su cauce hay formación de cascadas y rápidos; su lecho contiene pie-

dras de tamaño grande. Las coordenadas de la estación 3 son X: 1.156.423 Y: 1.344.700; se caracteriza por presentar una ribera descubierta con buena penetración de los rayos solares; en su cauce hay formación de rápidos y remansos; su lecho contiene piedras de tamaño grande; además es utilizada como fuente receptora de aguas residuales de los estanques piscícolas que allí se encuentran. Las coordenadas de la estación 6 son X: 1.155.988 Y: 1.345.480; se caracteriza por presentar una ribera cubierta con vegetación nativa; en su cauce hay formación de rápidos; su lecho contiene piedras de tamaño grande y a esta descargan las aguas residuales del municipio.

**Quebrada La Rastrojera:** nace en la vereda la Cuchilla, pasa por la vereda El Almendral y por el sector norte del casco urbano donde se une con la quebrada La Lejía; esta

quebrada sirve como fuente abastecedora de agua al barrio San Marino. Allí se encuentran las Estaciones 4 (La Aduana) y 5 (La Palma); la estación 4 se localiza en las coordenadas X: 1.158.050 y Y: 1.344.623; se caracteriza por presentar en su ribera vegetación nativa, en su cauce hay formación de pequeñas cascadas, rápidos y remansos y su lecho contiene piedras de tamaño grande. La estación 5 se ubica en las coordenadas X: 1.156.122 y Y: 1.345.340; presenta una ribera cubierta por heliconias y ortiga; en su cauce hay formación de pequeñas cascadas y remansos con abundante lodo. Su lecho contiene piedras de tamaño grande; es evidente la intervención antrópica por la presencia de residuos sólidos y basuras, y porque además, hay descargas de aguas residuales domésticas y de pequeñas industrias.

## Materiales y métodos

### Trabajo de campo y de laboratorio

Fueron realizadas cuatro jornadas de campo en seis estaciones de muestreo ubicadas en las quebradas La Laucha, La Lejía y La Rastrojera, los cuales abarcaron tres periodos hidrológicos contrastantes, las estaciones de muestreo se caracterizaron por poseer diferentes grados de contaminación. Para los análisis fisicoquímicos se recolectó en un recipiente plástico de 500 ml una muestra de agua en cada estación por cada período de muestreo. En la Tabla 1 se muestran las variables analizadas, los materiales

y métodos utilizados para la medición de las diferentes variables fisicoquímicas y microbiológicas.

Se recolectaron tres muestras de macroinvertebrados cada 10 m en ambas orillas de las quebradas durante una hora por estación y momento de muestreo, utilizando métodos propuestos por **Roldán** (1988) **Carrera y Fierro** (2001) y **Roldán** (2003). Estas muestras fueron trasladadas al Laboratorio de Limnología de la Universidad Católica de Oriente; allí se separaron los individuos, los cuales fueron identificados hasta el nivel de familia, con la ayuda de un estereoscopio y claves taxonómicas como: **Johannsen** (1933); **Wiggins** (1977); **Costa et al.** (1988); **Roldán** (1988); **Machado y Rincón** (1989); **Merritt y Cummins** (1996), **Posada y Roldán** (2003); **Roldán** (2003) y **Roldán et al.** (2003). Los organismos se conservaron en alcohol al 70% los cuales fueron debidamente rotulados.

### Tratamiento estadístico

Las variables fisicoquímicas se presentan en la Tabla 2 con las medidas de tendencia central; para tal efecto se obtuvo un valor medio basado en los cuatro momentos de muestreo para cada una de las estaciones. Como medidas de dispersión absoluta y relativa se usaron la desviación estándar (S) y el coeficiente de variación relativa de Pearson, respectivamente. Para las variables microbiológicas se presenta un gráfico con los resultados obtenidos para cada una de las estaciones y momentos de muestreo.

**Tabla 1.** Material y metodología utilizada para la medición de las variables fisicoquímicas y microbiológicas estudiadas.

Variables	Unidad	Material y/o Método	Comentario
Temperatura del agua	° C	Termómetro	<i>In situ</i>
Conductividad	µmhos/cm	Conductímetro	Potenciométrico
Turbidez	NTU	Turbidímetro	Nefelométrico
Sólidos totales	mg/l	Gravimétrico	Secado en mufla a 103-105 ° C
Oxígeno disuelto	mg/l	Winkler (300 ml)	Modificación de azida
Porcentaje de saturación de Oxígeno	%		
pH	---	pH-metro	Potenciométrico
Alcalinidad total	mg CaCO <sub>3</sub> /l	pH-metro	pH hasta 4.3, titulación con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0.02N
Dureza	mg CaCO <sub>3</sub> /l	EDTA	Titulación
Nitritos	µg/l	Espectrofotométrico	Lectura a 543 nm
Nitratos	µg/l	Reducción de cadmio	Lectura a 543 nm
Ortofosfatos	µg/l	Ácido ascórbico	Lectura a 880 nm
Fósforo total	µg/l	Ácido ascórbico	Lectura a 880 nm
Sulfatos	mg/l	Turbidimétrico	(Buffer A) a 420 nm
Microorganismos mesofílicos	UFC/ml	Filtración por membrana	
NMP Coliformes Totales	Coli/100ml	Filtración por membrana	
Coliformes Fecales a	45° C/100 ml	Filtración por membrana	

Para la asociación de taxa de macroinvertebrados, se presenta el número de individuos por familia, sitio y momento de muestreo; se obtuvo igualmente la estructura primaria de la asociación de macroinvertebrados (composición y riqueza de especies Margalef (1951), distribución de abundancia de cada uno de los momentos y sitios de muestreo, diversidad **Shannon-Wiener** (1948), dominancia, equidad **Pielou** (1969). Para la estimación de la distribución espacio temporal de la asociación de taxa se aplicó el análisis de similaridad de Bray Curtis (ligamiento promedio –UPGMA–). Con el fin de definir la influencia de las variables ambientales sobre la asociación de macroinvertebrados se realizó un análisis directo (análisis de redundancia canónica –RDA–); la significancia de la interacción fue probada mediante una prueba de permutaciones (Monte Carlo con 499 permutaciones). Todos los análisis fueron realizados sobre los datos centrados ( $x_i - \bar{x}$ ) y transformados a su raíz cuadrada ( $\sqrt{vx+1}$ ) y con el paquete CANOCO 4.5 para Windows. Con el fin de establece la calidad del agua en cada una de las estaciones de muestreo se calculó el índice BMWP/Col según la metodología propuesta por **Roldán** (1999); **Roldán** (2001), **Roldán** (2003), **Zamora** (1999). Adicionalmente, se presenta un mapa de calidad del agua con el método del Sistema de Información Geográfica (SIG) ARC VIEW 3.1 para mantener, usar y analizar datos biológicos o atributos (número de familias y de individuos por estación), con localizaciones exactas (referencias geográficas) en la superficie terrestre de las microcuencas estudiadas.

**Resultados**

**Variables fisicoquímicas y microbiológicas**

Ninguna de las variables fisicoquímicas analizadas presentó diferencias significativas entre momentos de muestreo ( $p > 0,005$ ), mas sí entre estaciones, por lo cual en la Tabla 2 se presentan las medidas de tendencia central para cada una de las variables en las diferentes estaciones de muestreo. Las variables microbiologicas obtenidas son mostradas en la Figura 2.

**Comunidad de macroinvertebrados**

La asociación de macroinvertebrados estuvo compuesta 15 órdenes, 57 familias y 59 taxa; el mayor número de taxa fue para el orden Diptera (14), seguido por Trichoptera (11) y Coleoptera (10) (Tabla 3). Dentro de los órdenes colectados se resaltaron los valores más significativos en numero de individuos: Trichoptera (18.7%), Coleoptera (16%) Hemiptera (3.5%); Diptera (49.1%); Basommatophorra (6.3%).

Teniendo en cuenta las estaciones de muestreo, el mayor número de individuos colectados se presentó en la estación 5 (9.582) representados en un poco mas del 90% por la familia Chironomidae, mientras que el menor número de individuos fue hallado en la estación 4 con 1.310 individuos (Tabla 3 y Figuras 3-8). Se observa como en las estaciones 1 y 2 la familia que predomina en número de individuos es Elmidae, seguida por Leptoceridae. En la estación 3 predominan las familias Leptoceridae y Elmidae, mientras que en

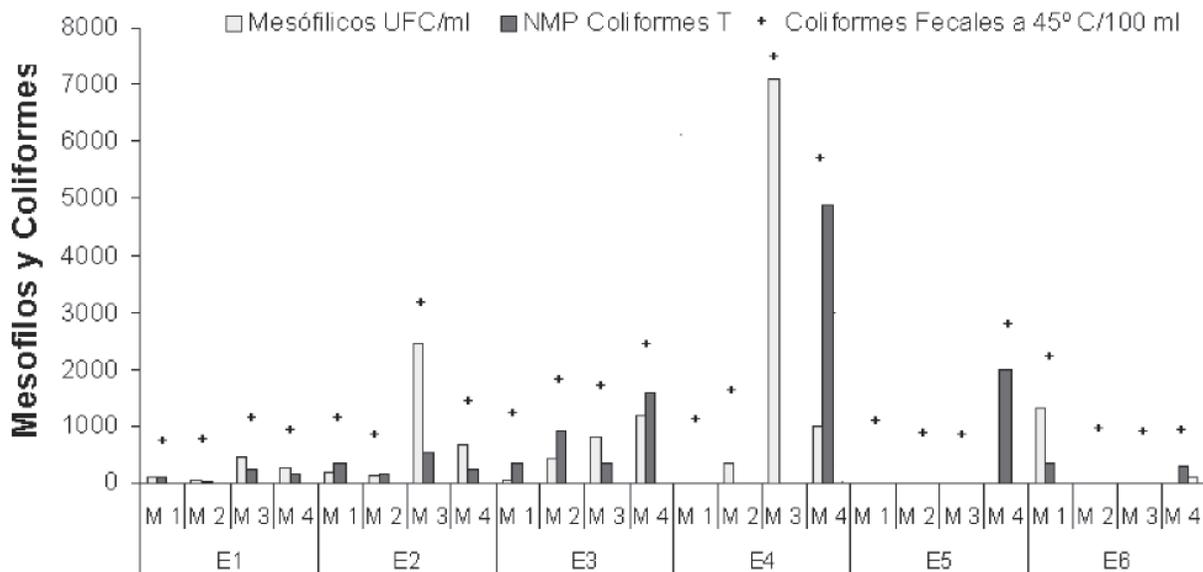


Figura 2. Parámetros microbiológicos para cada una de las estaciones y momentos de muestreo.

**Tabla 2.** Medias centradas de los parámetros fisicoquímicos.

Variables		Estaciones					
		E1	E2	E3	E4	E5	E6
Temperatura (° C)	Rango	14,6-15,1	15,6-16,1	16,9-17,1	16-17	32-33	19-20,5
	Media	14,9	15,9	17,0	16,6	32,4	19,6
	Desviación Estándar	0,2	0,2	0,1	0,5	0,5	0,8
	%CV	1,5	1,4	0,5	2,9	1,5	3,8
pH (unidades de pH)	Rango	7,4-7,9	7,5-7,9	7,8-7,9	7,3-8,08	7,6-8,07	7,5-7,93
	Media	7,7	7,7	7,9	7,7	7,8	7,7
	Desviación Estándar	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2
	%CV	3,1	2,2	0,7	4,1	2,6	2,3
Conductividad (µmhos/cm)	Rango	19,1-35	50-69	53,5-73	169-241	64-298	92-348
	Media	28,8	59,1	61,6	212,8	129,5	238,5
	Desviación Estándar	6,8	8,3	8,2	30,8	112,6	110,0
	%CV	23,7	14,1	13,3	14,5	86,9	46,1
Oxígeno Disuelto mg/l O <sub>2</sub>	Rango	8,9-9,1	8,3-8,7	8,8-9	7,4-7,6	1,7-1,9	7,8-8
	Media	9,0	8,5	8,9	7,5	1,8	7,9
	Desviación Estándar	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
	%CV	0,9	2,0	0,9	1,3	5,2	1,0
Porcentaje de Saturación de Oxígeno (%)	Rango	108-113	111-128,00	124-126	100-105,0	24,0-26,0	107,0-111,0
	Media	110,3	117,5	125,0	101,8	24,8	109,3
	Desviación Estándar	2,2	7,6	0,8	2,2	1,0	1,7
	%CV	2,0	6,5	0,7	2,2	3,9	1,6
Alcalinidad (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	Rango	8-16,8	23,5-38	26-43,4	117,22-121,10	34,27-34,27	48,7-142
	Media	13,3	30,8	33,6	118,9	63,3	114,4
	Desviación Estándar	4,1	6,3	7,3	1,6	42,6	44,0
	%CV	31,2	20,6	21,8	1,4	67,3	38,5
Dureza mg/l (CaCO <sub>3</sub> )	Rango	13,2-38	21,6-32,0	25-35	100-129,2	29,2-128,40	60,4-114,4
	Media	22,4	28,4	30,8	108,7	57,4	96,2
	Desviación Estándar	10,8	4,6	4,4	13,7	47,4	24,6
	%CV	48,2	16,3	14,2	12,6	82,7	25,6
Turbidez (UTN)	Rango	0-2,0	0-2,0	0,11-3,4	0-2,09	1,65-4,30	0-40,07
	Media	0,5	0,9	1,5	0,6	2,8	26,9
	Desviación Estándar	1,0	0,9	1,7	1,0	1,2	18,2
	%CV	187,5	95,6	108,7	168,2	44,5	67,7
Nitritos (mg/l NO <sub>2</sub> )	Rango	0,0-0,0	0,0-0,0	0,0-0,0	0,0-0,0	0,0-0,01	0,0-0,30
	Media	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
	Desviación Estándar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
	%CV					90,1	152,2
Sulfatos (mg/l So <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	Rango	0,0-0,0	0,0-0,0	0,0-0,0	0,0-0,0	0,0-0,0	0,0-32,0
	Media	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,8
	Desviación Estándar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,3
	%CV						67,1
Cloro (mg/l Cl)	Rango	0,0-0,0	0,0-0,0	0,0-0,0	0,0-0,0	0,0-0,0	0,0-0,0
	Media	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Desviación Estándar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	%CV						
Cloruros (mg/l)	Rango	0,0-0,0	0,0-1,22	0,0-1,3	3,2-4,12	1,36-13,60	1,7-18
	Media	0,0	0,6	0,3	3,5	4,7	12,4
	Desviación Estándar	0,0	0,7	0,7	0,4	5,9	7,3
	%CV		115,5	200,0	12,9	126,8	59,1
Fosfatos (mg/l Po <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	Rango	0,0-0,14	0,0-0,06	0,00-0,03	0,18-0,26	0,11-2,40	0,25-2,70
	Media	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7	1,9
	Desviación Estándar	0,1	0,0	0,0	0,0	1,1	1,1
	%CV	200,0	200,0	200,0	17,4	149,1	59,0
Hierro (mg/l Fe)	Rango	0,0-0,16	0,0-0,7	0,00-0,34	0,00-0,15	0,11-0,36	0,3-0,91
	Media	0,1	0,2	0,2	0,0	0,2	0,6
	Desviación Estándar	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,3
	%CV	132,0	156,5	80,1	183,7	45,7	55,1

*E1 La Laucha; E2 La Hamaca; E3 La Primavera; E4 La Aduana; E5 La Palma; y E6 El Trapiche.*

**Tabla 3.** Taxa hallados en cada una de las estaciones de muestreo

ORDEN	FAMILIA	Estación 1				Estación 2				Estación 3				Estación 4				Estación 5				Estación 6				
		M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	1	1	3	60		7	2	18				29	4	4		43					2	1			
	Oligoneuriidae					3	6	2	4				12	2	3	4	2					41	2	16	3	
	Leptohyphidae				10	2		6	3					1	7							39	25	1		
	Baetidae			8		2	3	1					3									34	8			
Trichoptera	Leptoceridae	211	201	98	62	283	228	51	156	449	289	62	80	50	53	72	29					43	2			
	Helicopsychidae	10	6	17	5	3	7	4	17	23	141	41	35	37	12	67	9					7	2	2	26	
	Glossosomatidae	5			2	1	1		1	6	2		8									8	5		4	
	Calamoceratidae	22	22	15	6	9	36	1	7	27	32	6	12	53	29	61	15					2				
	Hydropsychidae	26	5	52	3	4	32	18	2	3	5	4	1	18	13	21	3			6		68	25	76	11	
	Odontoceridae	28	5	14	25	2			1					2	6	14	15					1	1			
	Hydrobiosidae	1				1																				
	Philopotamidae				1									2												
	Polycentropodidae							1	4					1	2	5		3								
	Odontoceridae									7	9	1	1													
	Hydroptilidae												2													
Plecoptera	Perlidae	15	1	10	12	11	43	65	21	10	8	24	14	2	1		1					4	2		2	
Coleoptera	Psephenidae	4	1	1	12	10	2	68	39	7	12	54	61										2	1		
	Elmidae	65	30	84	14	332	292	334	94	363	212	137	68	96	19	98	9					236	13	62	9	
	Ptilodactylidae	26	5	6	3	1		2	2				1	1			1						1			
	Lutrochidae		1		1				1																	
	Dryopidae					1																				
	Lampyridae													1		1										
	Hydroptilidae														1											
	Gyrinidae													1												
	Scarabidae																	1								
	Chrysomelidae																						1			
Megaloptera	Corvidae	3		5	1	13	8	40	11	9	2	1	2	6		2						3	2	3		
Odonata	Calopterygidae	3	8	30			5			1	6	1	3	8	9	1	3					3	1	6	4	
	Libellulidae	2	2	3		1	1	10	2	3	1	1	4	3	2	4						7	4	7	3	
	Gomphidae	41	2	11	3			2	1				10	3	3	7	3					3	5	1		
	Coenagrionidae	2			4			1					7	12	9	2	2					1	1	2	1	
Arachnoidea	S.I.	1	1		1	12	10	15	12	3	5	1	17	3	1							1	3			
Lepidoptera	Pyralidae	4		3		1	10	2				3		4	1	1						1	3			
Hemiptera	Veliidae			32	1	1							12	8			1					14	1	4	1	
	Gerridae			4									1	28	11	8	15					1	11	3	2	
	Naucoridae			14	1	54	10	10	49	159	100	51	41	31	10	7	11					25	7	1	13	
	Belostomatidae														2											
Diptera	Chironomidae	28	32	36	5	5	4	16	6	3	12	46	29	22	11	5	8	2930	5012	562	481	198	7	234	1	
	Tipulidae	5	2	1	6	4	1	3	4	3			3	2	3		1									
	Tabanidae	2				1	1																			
	Ceratopogonidae	1	3	1								6	1									2	1	1		
	Simuliidae	1	8	2		21		1		9	18	3		9								136				
	Ephydriidae		1									1	2		5											
	Culicidae					1																				
	Stratiomyidae								3					2	4	5	3	1	13	63	7		2			
	Syrphidae						3												3	3						
	Empididae					1	1																			
	Ephydriidae																	2	2	2	1		2			
	Muscidae																				1					
	Psychodidae																						27	3	22	7
	Sciomyzidae																								1	
Veneroidea	Sphaeriidae	9	1	7	9			2	11	11	8	20	84	10	110	3	84	110				6	2			
Crustacea	Pseudohelpeusidae			1								1				4	2									
	Hyalellidae												1	13		1										
Basommatophora	Physidae		3	1											1			286	96	28	6	198	335	219	94	
	Planorbidae																1								1	
Anelida	Glossiphoniidae			1													2	8	15	3	6	9	27	2		
Haplotaxida	Tubificidae			7		1	2					18	1			1						3	5			
	si																	4		22						

*E1 La Laucha; E2 La Hamaca; E3 La Primavera; E4 La Aduana; E5 La Palma; y E6 El Trapiche).*

la estación 4 la mayor abundancia es para Elmidae, Spheridae, Leptocerridae y Calamoceratidae. En la estación 5 se observa una drástica reducción en el número de familias, predominando en un 90% la familia Chironomidae, al igual que para la estación 5 en la estación 6 predominan las familias

Physidae y Chironomidae. A pesar de que el número de individuos colectados fue mayor durante los dos meses más secos (junio y julio) en relación con agosto y septiembre, el número de individuos por momento de muestreo no presentaron diferencias significativas ( $f=0,88$ ;  $p=0,448$ ), mientras que

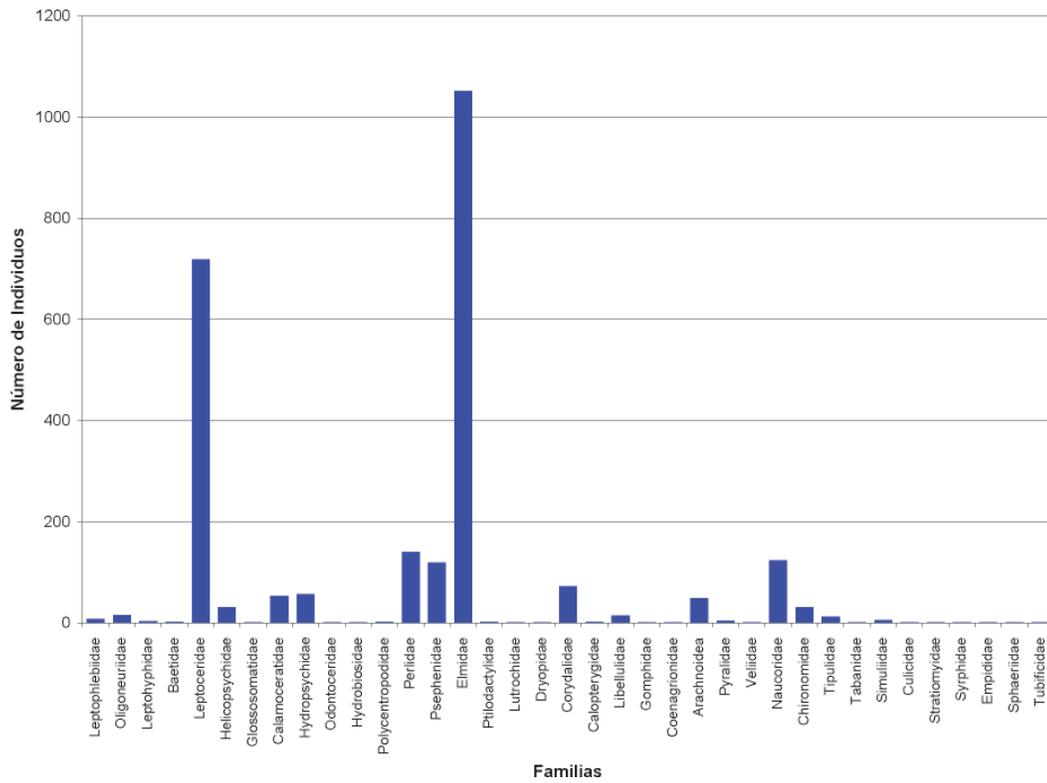


Figura 3. Macroinvertebrados acuáticos de la Estación 1: La Laucha

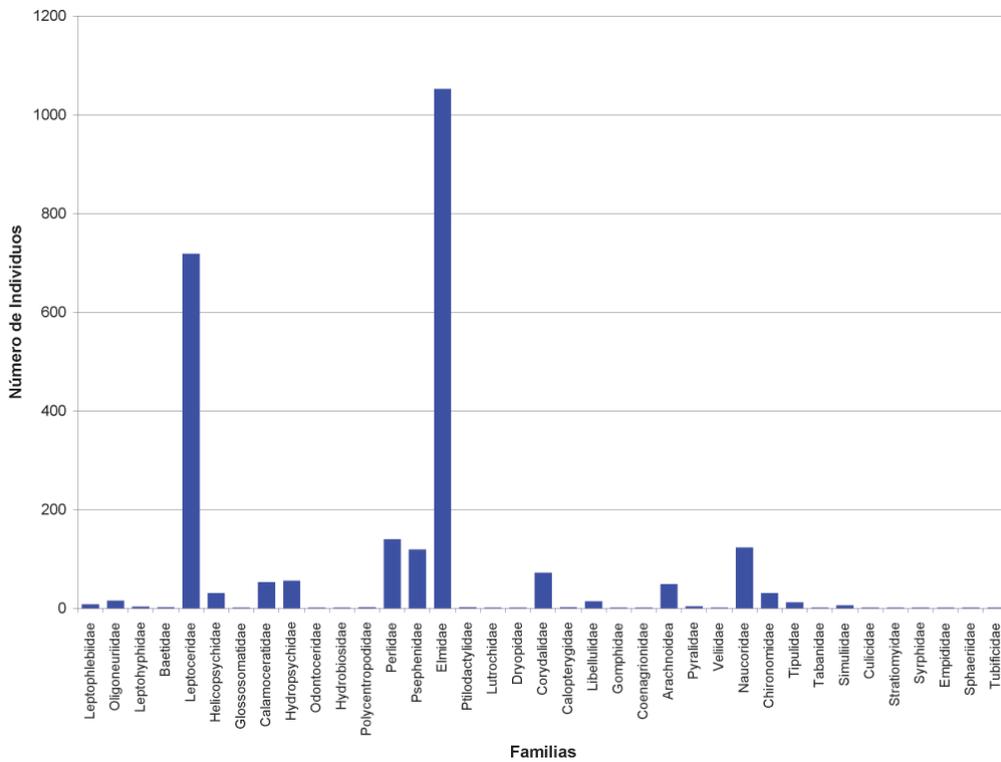


Figura 4. Macroinvertebrados acuáticos de la Estación 2: La Hamaca

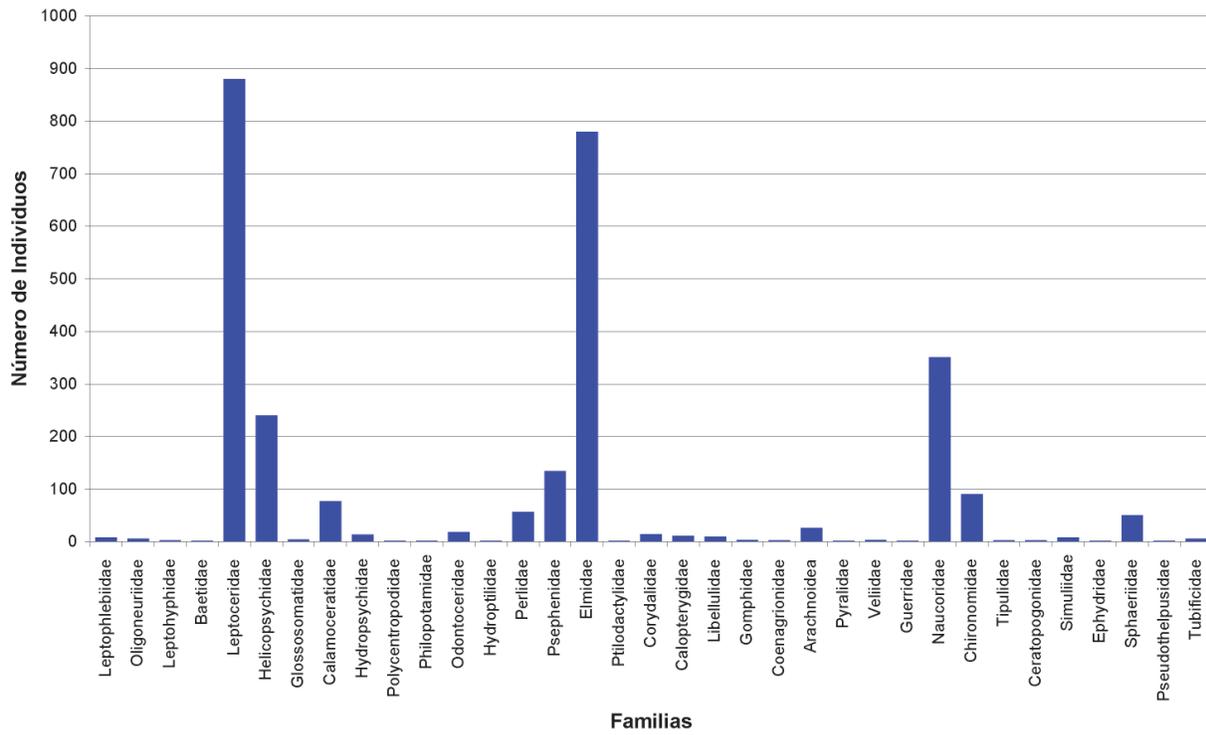


Figura 5. Macroinvertebrados acuáticos de la Estación 3: La Primavera

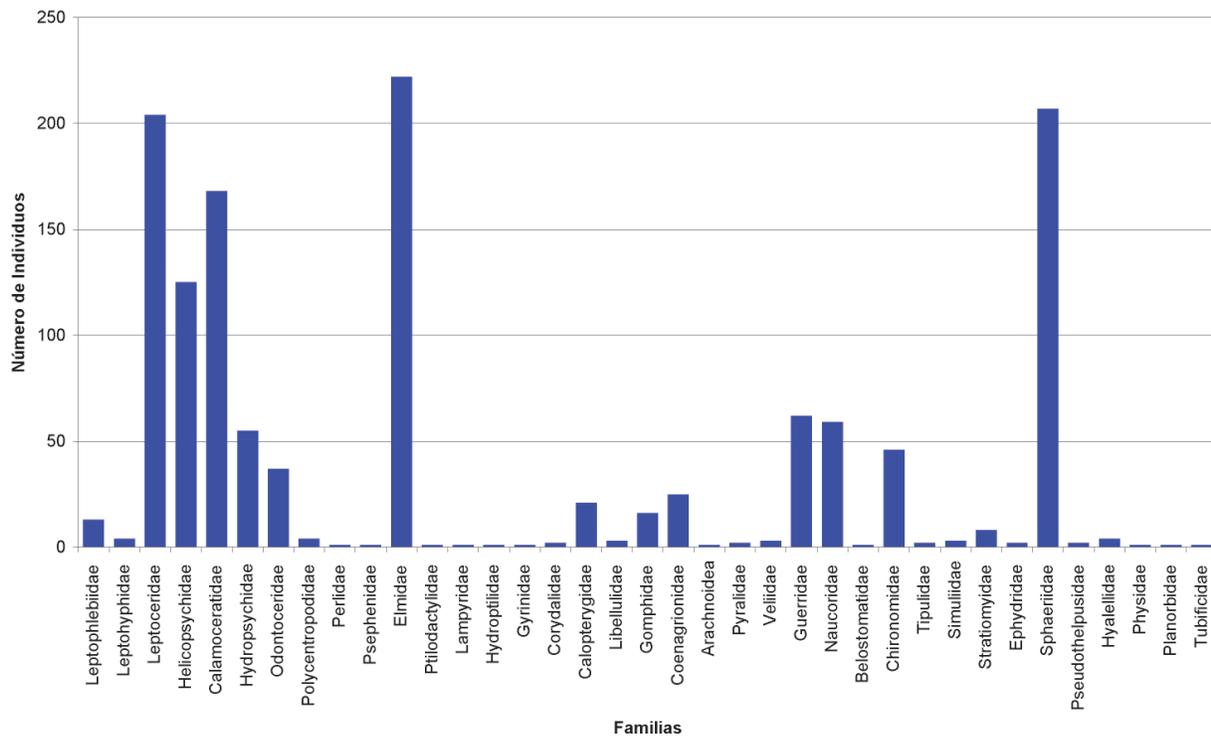


Figura 6. Macroinvertebrados acuáticos de la Estación 4: La Aduana

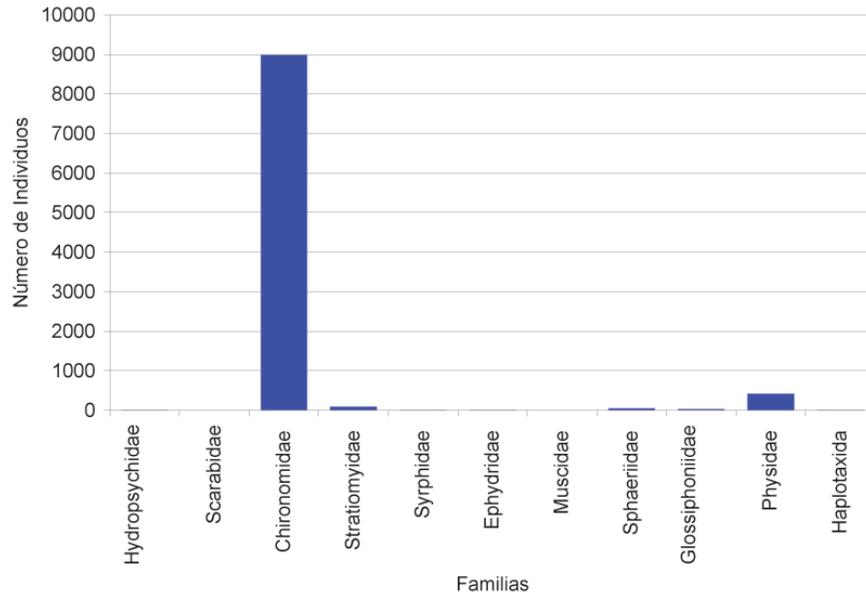


Figura 7. Macroinvertebrados acuáticos de la Estación 5: La Palma

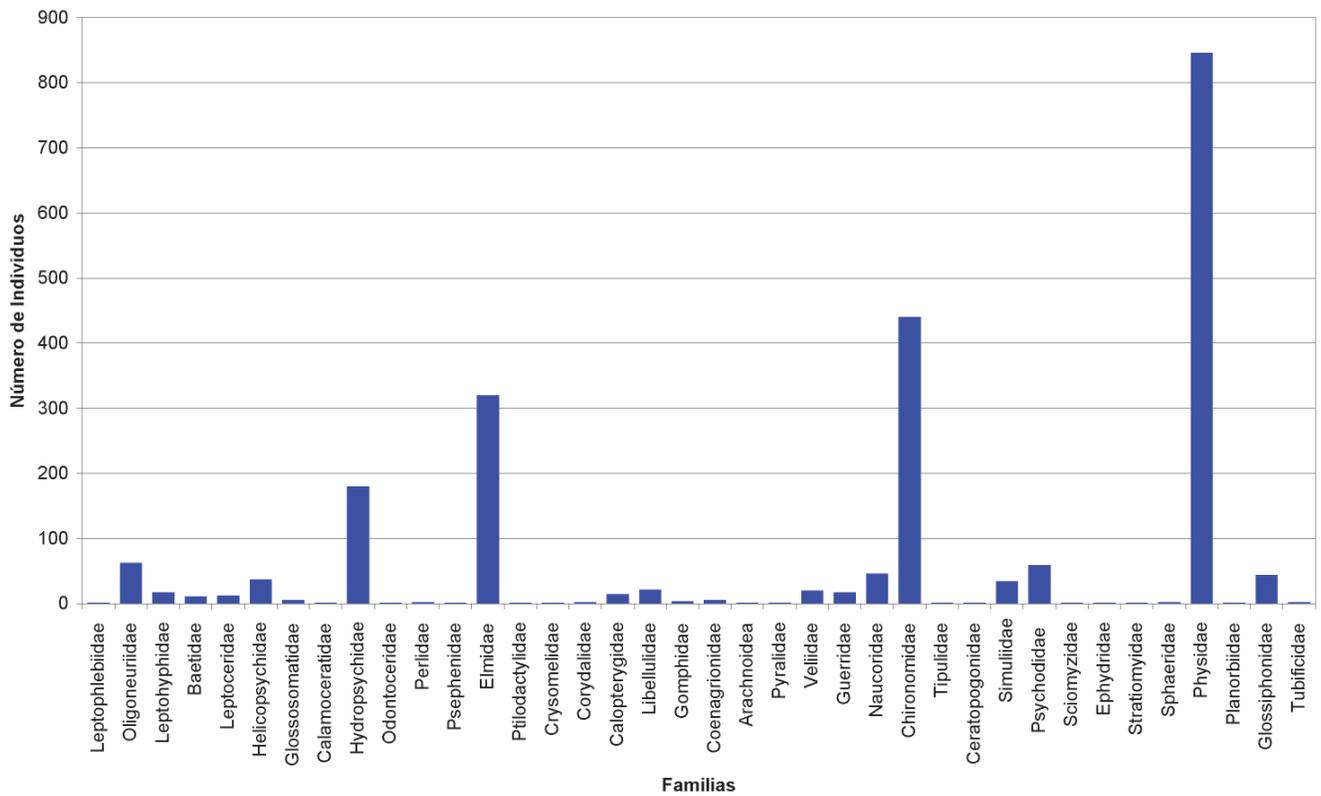


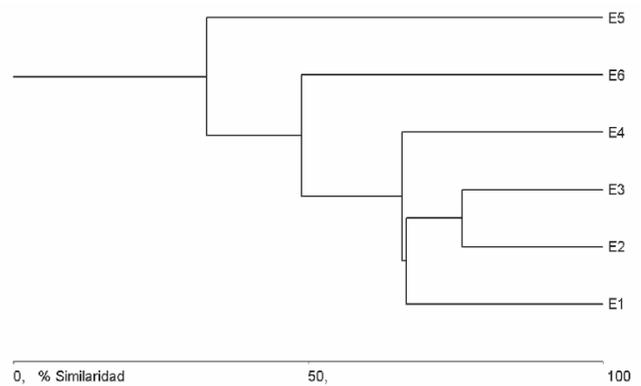
Figura 8. Macroinvertebrados acuáticos de la Estación 6: El Trapiche

entre las estaciones de muestreo sí se presentaron diferencias significativas ( $f=8,60$ ;  $p=0,000$ ), lo cual posiblemente puede obedecer a las características ambientales para cada una de las estaciones de muestreo.

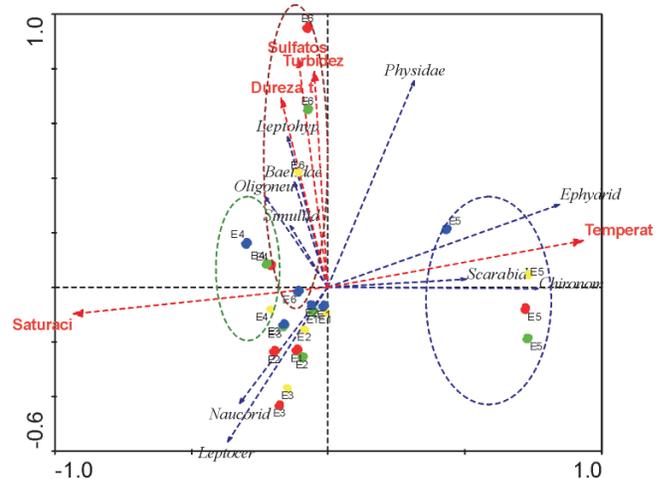
El número de taxa por estación de muestreo varió entre 11 y 38 de los cuales el mayor fue hallado en las estaciones 1 y 6 (38), seguidas por las estaciones 2 y 4 con 37, mientras que el menor fue hallado en la estación 5 con 11 taxa. La mayor diversidad se presentó en la estación 4 (2,35), y en las estaciones 3 y 1 con 2,29 y 2,26 respectivamente, mientras que la estación 5 presentó la menor diversidad (0,3), en la cual al igualmente se presentó la mayor dominancia (0,94) debido a la alta abundancia de la familia Chironomidae (Tabla 4).

Teniendo en cuenta el número de individuos y sitio de muestreo, a través del análisis de similaridad de Bray Curtis se evidencia la conformación de un grupo conformado por las estaciones E1, E2, E3 y E4 dentro del cual hay una alta similaridad entre E2 y E3 (76,12%), mientras que se observa la separación de las estaciones E6 y E5 del grupo anterior hallando que E5 presenta muy bajas similaridades con las demás estaciones de muestreo (6,8-13,3%) (Figura 9).

En el análisis de redundancia (RDA) los tres primeros componentes extraídos explican el 99,9% de la variación encontrada, la familia Ephydriidae y Chironomidae son las que más aportan al primer componente; mientras que Leptohyphidae y Physidae lo hace para el segundo. Dentro de las variables fisicoquímicas las que más aportan al análisis son para el primer componente la saturación de oxígeno y la temperatura mientras que el segundo eje está determinado principalmente por la turbidez y los sulfatos. La estructura de la asociación de taxa no permite un agrupamiento definido para el momento de muestreo, pero sí por estación (Figura 10) encontrando que las estaciones que presentan una agrupación definida son E5, E6 y E4. Existe una relación significativa entre el oxígeno disuelto y la diversidad ( $r=0,9442$   $p=0,000$ ), La temperatura y el número de individuos ( $r=0,9654$   $p=0,000$ ) (Tabla 5).



**Figura 9.** Análisis de similaridad de Bray Curtis para las estaciones de muestreo (E1 La Laucha; E2 La Hamaca; E3 La Primavera; E4 La Aduana; E5 La Palma; y E6 El Trapiche).



**Figura 10.** Representación gráfica del Análisis de Redundancia basado en la interacción de las variables fisicoquímicas, los taxa y las estaciones de muestreo Factores de análisis: meses en colores (Junio: amarillo; Julio: rojo; agosto: verde; septiembre: azul) (E1 La Laucha; E2 La Hamaca; E3 La Primavera; E4 La Aduana; E5 La Palma; y E6 El Trapiche).

**Tabla 4.** Resultados de los índices de diversidad, riqueza, dominancia y equidad para cada una de las estaciones de muestreo.

Índices	Estaciones					
	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Diversidad	2.26	1.83	2.29	2.35	0.3	2.02
Riqueza	38	37	35	37	11	38
Dominancia	0.4	0.42	0.31	0.17	0.94	0.38
Equidad	0.62	0.51	0.64	0.65	0.125	0.55

E1 La Laucha; E2 La Hamaca; E3 La Primavera; E4 La Aduana; E5 La Palma; y E6 El Trapiche).

**Tabla 5.** Análisis de Regresión Múltiple entre las variables fisicoquímicas, microbiológicas y biológicas (Valor superior: R y valor inferior: P)

	O <sub>2</sub>	Temp	d	H'	Fe	Cond	Sulf	N° ind	Fosf	Alc.T	Clor	Mesó	NMP	Riq
O <sub>2</sub>	1	-.9720 .0000	-.8703 .0000	.9442 .0000	-.628 .7705	-.2006 .3474	.0919 .6693	-.9433 .0000	-.2075 .3307	-.1934 .3652	-.2003 .3480	-.4727 .0197	-.4553 .0254	.9648 .0000
Temp	-.9720 .0000	1	.9027 .0000	-.9491 .0000	.1824 .3935	.1890 .3765	.0272 .8995	.9654 .0000	.2935 .1640	.1663 .4372	.2715 .1995	.4564 .0250	.4329 .0346	-.9618 .0000
d	-.8703 .0000	.9027 .0000	1	-.9692 .0000	.1326 .5369	-.1058 .6228	-.0891 .6788	.9488 .0000	.1559 .4669	-.1727 .4196	.0873 .6849	.2104 .3236	.4235 .0392	-.9219 .0000
H'	.9442 .0000	-.9491 .0000	-.9692 .0000	1	-.1307 .5426	-.0238 .9120	.0945 .6606	-.9741 .0000	-.1737 .4170	.0178 .9343	-.1341 .5322	-.3329 .1119	-.4391 .0318	.9558 .0000
Fe	-.628 .7705	.1824 .3935	.1326 .5369	-.1307 .5426	1	.3303 .1149	.6462 .006	.1001 .6415	.5969 .0021	.3537 .0900	.5684 .0038	.2798 .1854	.0514 .8116	-.0220 .9186
Cond	-.2006 .3474	.1890 .3765	-.1058 .6228	-.0238 .9120	.3303 .1149	1	.6484 .0006	-.0051 .9813	.8006 .0000	.9626 .0000	.8727 .0000	.4033 .0507	.3715 .0739	-.0102 .9623
Sulf	.0919 .6693	.0272 .8995	-.0891 .6788	.0945 .6606	.6462 .006	.6484 .0006	1	-.1453 .4983	.8453 .0000	.5994 .0020	.8564 .0000	.1668 .4361	-.0915 .6707	.2066 .3329
N° ind	-.9433 .0000	-.9433 .0000	.9488 .0000	-.9741 .0000	.1001 .6415	-.0051 .9813	-.1453 .4983	1	.1292 .5474	-.0420 .8457	.0879 .6828	.3121 .1376	.4417 .0307	-.9886 .0000
Fosf	-.2075 .3307	.2935 .1640	.1559 .4669	-.1737 .4170	.5969 .0021	.8006 .0000	.8453 .0000	.1292 .5474	1	.7356 .0000	.9841 .0000	.3179 .1301	.4315 .0353	-.0851 .6925
Alc.t	-.1934 .3652	.1663 .4372	-.1727 .4196	.0178 .9343	.3537 .0900	.9626 .0000	.5994 .0020	-.0420 .8457	.7356 .0000	1	.8176 .0000	.5286 .0079	.2811 .1833	.0135 .9502
Clor	-.2003 .3480	.2715 .1995	.0873 .6849	-.1341 .5322	.5684 .0038	.8727 .0000	.8564 .0000	.0879 .6828	.9841 .0000	.8176 .0000	1	.3779 .1301	.3714 .0740	-.0539 .8024
Meso	-.4727 .0197	.4564 .0250	.2104 .3236	-.3329 .1119	.2798 .1854	.4033 .0507	.1668 .4361	.3121 .1376	.3179 .1301	.5286 .0079	.3779 .1301	1	.1876 .3799	-.3363 .1081
NMP	-.4553 .0254	.4329 .0346	.4235 .0392	-.4391 .0318	.0514 .8116	.3715 .0739	-.0915 .6707	.4417 .0307	.4315 .0353	.2811 .1833	.3714 .0740	.1876 .3799	1	-.4439 .0298
Riq	.9648 .0000	-.9618 .0000	-.9219 .0000	.9558 .0000	-.0220 .9186	-.0102 .9623	.2066 .3329	-.9886 .0000	-.0851 .6925	.0135 .9502	-.0539 .8024	-.3363 .1081	-.4439 .0298	1
J'	.9396 .0000	-.9464 .0000	-.9704 .0000	.9993 .0000	-.1471 .4928	-.0338 .8753	.0709 .7419	-.9669 .0000	-.1933 .3655	.0099 .9634	-.1528 .4759	-.3361 .1083	-.4379 .0323	.9462 .0000

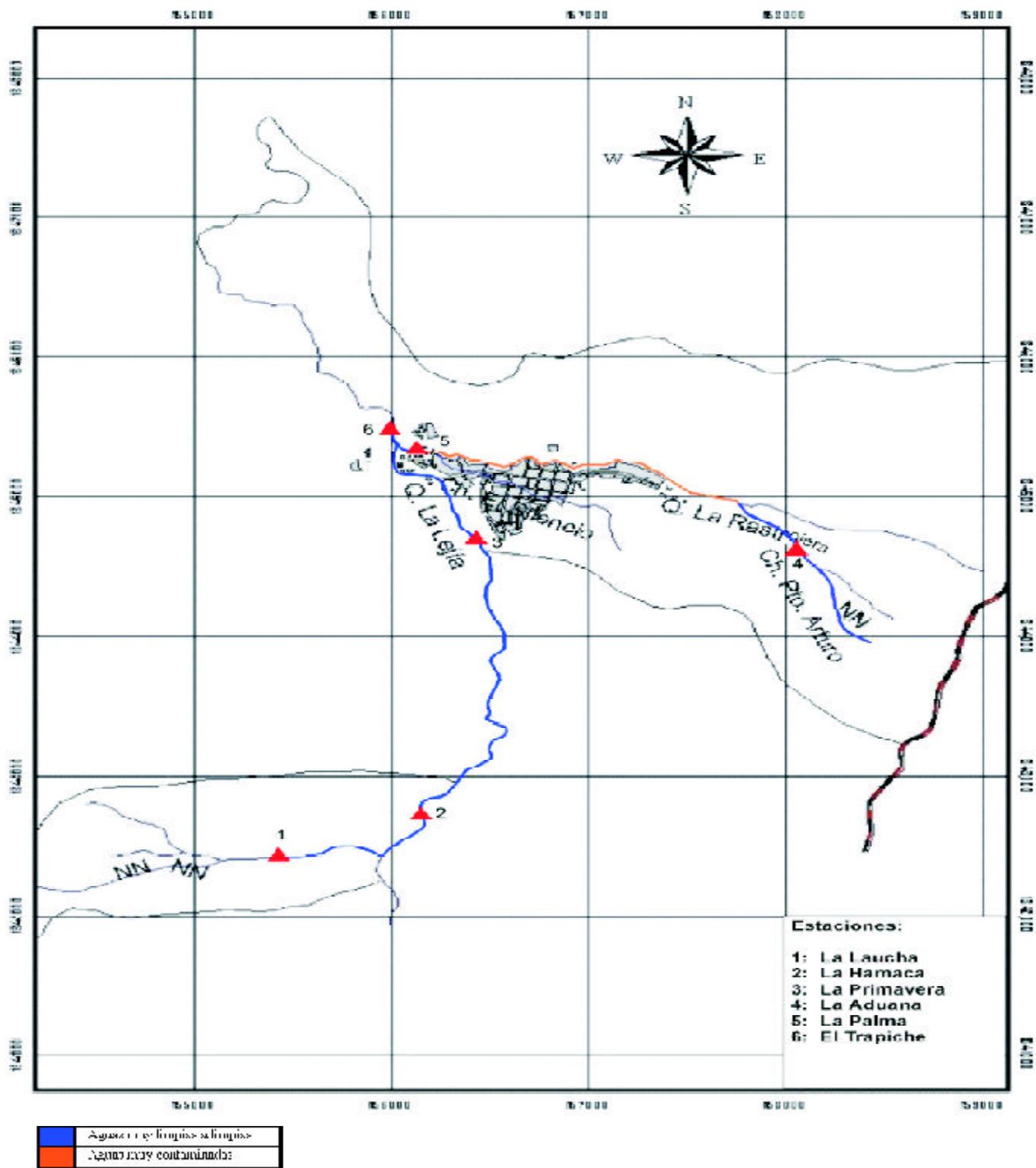
### Índice BMWP/Col

Las familias colectadas en cada una de las estaciones de muestreo definieron la calidad del agua para la zona de estudio; la Tabla 6 muestra los valores obtenidos del índice BMWP/Col para cada una de las estaciones de muestreo. Todas las estaciones según los valores del índice BMWP/Col corresponden a aguas muy limpias a limpias excepto para la estación 5 en la cual el valor del índice (33) corresponde a aguas muy contaminadas (Tabla 6). La Figura 11 muestra el mapa de calidad del agua para las diferentes estaciones de muestreo analizadas.

**Tabla 6.** Clases de calidad de agua, puntaje BMWP/Col, significado y colores para el mapa de calidad de agua

Estación	Clase	Calidad	BMWP/Col	Significado	Color
E1	I	Buena	260	Aguas muy limpias a limpias	Blue
E2	I	Buena	252	Aguas muy limpias a limpias	
E3	I	Buena	250	Aguas muy limpias a limpias	
E4	I	Buena	257	Aguas muy limpias a limpias	
E5	IV	Crítica	33	Aguas muy contaminadas	Yellow
E6	I	Buena	243	Aguas muy limpias a limpias	Blue

*E1 La Laucha; E2 La Hamaca; E3 La Primavera; E4 La Aduana; E5 La Palma; y E6 El Trapiche).*



Fuente: E.O.T

Figura 11. Mapa de calidad de agua sobre las estaciones de muestreo.

## Discusión y análisis

### Parámetros físico-químicos

El oxígeno disuelto se encuentra dentro de los valores normales para éste parámetro (7.0 y 8.0 mg/l), excepto para la estación 5 con valores promedio de 1.8 mg/l, lo que confirma el impacto por la contaminación producida por la población de Durania. La temperatura, con un valor medio de 19.4°C característico en esta zona; las diferencias entre estaciones pueden obedecer a diferencias en los pisos altitudinales. En la estación 6 ubicada en la parte media de la microcuenca La Lejía, la temperatura disminuye debido a que allí, aguas arriba la quebrada La Rastrojera es afluente de la misma, por lo que al integrar sus aguas, se genera una disminución de la temperatura del caudal remanente.

El pH mantuvo los valores normales propios de aguas de montaña tropicales; algunas variaciones en el rango básico en la estación 5 son puntuales y se deben a la contaminación orgánica ya mencionada. La conductividad está dentro de los rangos normales (20 a 50  $\mu\text{S/cm}$ ) excepto en las estaciones 4 y 6 donde los valores superan los 200  $\mu\text{S/cm}$ , el cual es un valor alto si se considera que para las aguas superficiales tropicales de montaña, donde los valores son por lo regular son bajos (entre 10 y 50  $\mu\text{S/cm}$ ) **Roldán** (2003). Esto puede explicarse debido a las diferencias geomorfológicas entre los cauces, ya que la naturaleza del sustrato determina en gran medida los valores de conductividad eléctrica y este puede oscilar incluso para un mismo sistema acuático. De otra parte, **Montoya & Ramírez** (2004) encontraron que la mineralización de la materia orgánica trae como consecuencia un incremento sustancial en la conductividad eléctrica, el cual se acentúa con el aumento en la temperatura del agua.

La dureza, los sulfatos y los cloruros presentan valores normales para estas variables (**Roldán**, 1992). Las pequeñas diferencias encontradas se deben principalmente a que en la zona se emplean detergentes que afectan la dureza del agua y la concentración de sulfatos. En contraste, la concentración de cloruros, cambió poco entre quebradas ya que esta depende principalmente de los aportes del cauce, los cuales son más o menos constantes para cada una de los sistemas tratados y para las zonas tropicales es común encontrar valores de cloruros menores a 5 mg/l. El hierro presentó valores normales excepto de nuevo en la estación 5. **Roldán** (1992) reporta que las concentraciones de este mineral son bajas para los ecosistemas neotropicales las cuales oscilan entre 0.1 y 0.6 mg/l.

La alcalinidad presenta valores normales considerándose como bajo < 100 mg / l de  $\text{CaCO}_3$ . Se presentan algunas dife-

rencias entre sitios y estaciones, debido a la naturaleza del terreno y a la contaminación por materia orgánica. Los fosfatos presentan valores normales para tipos de aguas oligotróficas, excepto para la estación 5 donde son superados debido a la aplicación de agroquímicos en las prácticas agrícolas y vertimiento de aguas residuales. A diferencia de las estaciones ubicadas en las zonas de ritral en donde las concentraciones de fosfatos son bajas, debido a la disminución de las actividades antrópicas y a la pobreza mineral de los suelos de estas zonas.

Los nitritos presentaron valores muy bajos a veces no detectables, propio de aguas oligotróficas de montañas tropicales; de nuevo sólo la estación 5 presentó valores por encima de los normales lo cual es índice de contaminación orgánica reciente. La turbiedad fue baja excepto en la estación 6, lo que se puede considerar como indicativo de presencia de materia orgánica (**Sawyer & McCarty**, 1967), esto se debe a la entrada de diferentes compuestos de origen alóctono o autóctono, son más frecuentes a medida que se avanza en el cauce.

Los mesófilos presentaron un promedio de 1.689 UFC/100 ml. El número más probable de coliformes totales (NMP) presentó un valor medio de 98.383 UFC/100 ml. Esto es debido a la influencia de los vertimientos de aguas residuales sin ningún tratamiento a las fuentes hídricas y los residuos sólidos arrojados a las mismas, aumentando así el crecimiento de microorganismos bacterianos influyentes en la calidad del agua.

Se puede concluir que la estación 5, la más cercana a la zona urbana de Durania, es la que presenta mayor contaminación principalmente por materia orgánica; y que las estaciones ubicadas en la parte alta (1-3) son las menos contaminadas. Esto se correlaciona bien entre los parámetros físicoquímicos estudiados y las poblaciones de macroinvertebrados asociados.

### Macroinvertebrados acuáticos

En todas las estaciones de muestreo, excepto E5, se presentó un alto número de familias con una buena representación en número de individuos por taxa, lo cual está relacionado con el tipo de sustrato, conformado en la mayoría de las estaciones por rocas de tamaño medio y grande lo cual favorece la presencia de taxas adaptados a un tipo de hábitat en particular. Según Hynes (1974, **Richards et al.** (1993), **Arocena et al.** (2000) y Rincón (2002) las características del lecho de una corriente es un factor determinante sobre la composición de los macroinvertebrados acuáticos, adicionalmente a que las fluctuaciones del caudal determinan la permanencia o no de las especies en un sitio determinado (**Prat et al.** 1995).

En general se observó que la mayor abundancia de individuos se presentó durante los periodos más secos (junio y julio); este hecho puede deberse a las condiciones hidrológicas e hidráulicas de las corrientes las cuales determinan la composición y estructura de los macroinvertebrados acuáticos. Según **Riaño *et al.*** (1993), cuando disminuyen los caudales aumenta la densidad de individuos, dada la exposición de un mayor número de sustratos y por ende el aumento en el área disponible para colonización. Por otro lado, en los periodos de aguas altas o medias, el arrastre de los sustratos determina la presencia de arena, fango y piedras mas finas no aptas para la presencia de macroinvertebrados que no presenten algún tipo de adaptación a dichas condiciones.

Cabe destacar la presencia de individuos de la familia Perlidae en todas las estaciones de muestreo excepto para la estación 5. Dicho comportamiento puede estar relacionado con la ausencia de factores de contaminación severos en dichas estaciones, lo cual permite que la presencia de individuos pertenecientes a familias que determinan una buena calidad del agua; caso contrario a lo que se presenta en la estación 5, en la cual la mayor abundancia se debe a la presencia de la familia Chironomidae la cual es indicadora de ambientes medianos a altamente contaminados.

La estación 5 presentó la menor equidad y diversidad y por ende, la mayor dominancia, esto se debe a la presión ejercida por la población de Durania; este municipio no cuenta con sistemas de tratamiento de aguas residuales ni con colectores de éstas. La comunidad biológica encontrada en esta estación fue la que presentó el menor número de familias y la mayor densidad de individuos lo cual es común en zonas con efectos de contaminación orgánica (**Estéves**, 1998) Resultados similares han reportados en estudios realizados por **Matthias & Moreno** (1983), **De Pauw & Hawkes** (1993), **Jacobsen** (1998), ); **Posada *et al.*** (2000), **Roldán** (1999, 2003), **Reinoso** (1998), **Zamora** (1999), **Zúñiga de Cardozo** (1985), **Zúñiga *et al.*** (1997).

Los mayores valores fueron alcanzados por las estaciones 4 y 1, Según **Margalef**(1951) & **Perkins** (1983) las altas diversidades en ambientes naturales se asocian con ambientes oligosaprobios, lo cual se cumple para este estudio teniendo en cuenta que la mayoría de las estaciones de muestreo, según el índice BMWP/Col presentaron una muy buena calidad del agua.

La alta similaridad entre las estaciones E1, E2 y E3 se debe la presencia y abundancia de individuos de la familia Leptoheptidae, Baetidae y Glossosomatidae. Mientras que la separación de la estación 5 del resto del grupo está relacionada con el bajo número de taxa y la baja abundancia

de individuos por taxa e incluso la presencia de un individuo de la familia Escarabeidae el cual se encontró ausente en las demás estaciones de muestreo. Igualmente cabe destacar la alta abundancia de la familia Chironomidae en relación con el número de individuos reportados para las demás estaciones de muestreo.

El análisis de redundancia sugiere que las características del hábitat y las características fisicoquímicas, relacionadas principalmente con la entrada de vertimientos propios del municipio de Durania definen la presencia de algunas familias más que el momento pluviométrico dada la ausencia de una asociación en el momento hidrológico.

En el Anexo adjunto se muestran las fotos de los macroinvertebrados acuáticos más representativos encontrados y su respectivo valor BMWP/Col.

### Agradecimientos

Esta investigación se llevó a cabo gracias al apoyo económico del Sistema de Investigación y Desarrollo de la Universidad Católica de Oriente y a la Coordinación del Área Ambiental del Laboratorio Departamental de Salud Pública, Norte de Santander. Los autores expresan un agradecimiento muy especial a Mary Contreras, Israel y Pedro Parada, Eduardo Contreras, Adriana Castellanos, Carlos Parada, Mario Sandoval, Yimmy Montoya, Claudia Parada, Pablo Cáceres, Adriana Acosta y a los hermanos Parada Bastos - Compuser.

### Referencias bibliográficas

- Alba-Tercedor, J.** 1996. Macroinvertebrados acuáticos y la calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio del agua en Andalucía (SIAGA). Almería. Vol. II: 203-213.
- Arocena, R, F, D. & Clemente, J.** 2000. "La causas naturales versus a contaminación orgánica como factores estructurados del zoobantons en tres afluente de una laguna costera" *Limnética*. 18: 99-113.
- Carrera, C. & Fierro, K.** 2001. Manual de monitoreo: Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Ecociencia, Ecuador.
- Costa, C.; S. A. Vanin & S.A. Casari- Shen.** 1988. Larvas de Coleoptera do Brasil. Museo de Zoología. Universidad de Sao Paulo.
- De Pauw, N & H.A. Hawkes,** 1993. Biological monitoring of water quality. En: River quality monitoring and control. W.J. Walley y S. Judo, eds. Reino Unido, Aston University, 240 p.
- Esteves, F.A.** 1998. Fundamentos de Limnología. Interciencia. San Carlos, Río de Janeiro. 601p.
- Hynes, H.B.N.** 1974. The biology of polluted waters. University of Toronto Press. Pirnted in Greal Britain at the University Printing House, Cambridge. 110 p.

- Jacobsen, D.** 1998. The effect of organic pollution on the macroinvertebrate fauna of equatorial highland streams. *Arch. Hydrobiol.*, 143(2): 179-195.
- Johannsen, O. A.** 1933. *Aquatic Diptera*. Ithaca, New York, Publisher by the University.
- Machado, T. A & Rincón J.** 1989. Distribución ecológica e identificación de los coleópteros acuáticos en diferentes pisos altitudinales del departamento de Antioquia. Universidad de Antioquia. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Biología, Medellín – Colombia. pp 69-213.
- Margalef, R.** 1951. Diversidad de especies en las comunidades naturales. *P. Instituto de Biología Aplicada*, 9: 15-27.
- Matthias, W & H. Moreno,** 1983. Estudio de algunos parámetros fisicoquímicos y biológicos del río Medellín y sus principales afluentes. *Actual. Biol.*, 12(46): 106-117.
- Merritt, R. W. & Cummins, K. W.** 1996. *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*, 3.<sup>a</sup> ed., Dubuque, Iowa, Kendall/Hunt Publishing Company, 862 p.
- Montoya, M, Y. & Ramírez, J.** 2004. Tasas de mineralización y sedimentación en el embalse de Río Grande II, Don Matías, Antioquia-Colombia. Tesis de Maestría. Universidad de Antioquia, Medellín, 130 p.
- Perkins, J.L.** 1983. "Biossay evolution of diversity and community comparison indexes". *J. Wat Poll Control Fed* 55(5): 522-530.
- Pielou, 1969.** Pielou E.C. 1969. *An introduction to mathematical ecology*. Walley. New York.
- Planeación Municipal. Esquema de Ordenamiento Territorial 2003-2015, Municipio de Durania, Departamento Norte de Santander.
- Posada, J.; Roldán, G. & Ramírez, J.** 2000. Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad de aguas de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. En: *Revista Biología Tropical*. 48 (1): 59-70.
- Prat, N., Munné, A., Solá, C., Rieradevall, M., Bonada, N Y Chacon, G.** 1995. La qualitat ecológica del Llobregat, et Besos i el Foie. En: Gil MJ, Palau A y Fernández Ch. "Calidad biológica de las aguas del río Cinca (Huelva)" *Limnética* 20(1): 107-113. 2001.
- Roldán, G.** 1999. Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Rev. Acad.Col. Cien Exact. Fís. Nat. XXIII* (88): 375-387.
- Posada, J. & Roldán, G.** 2003. Clave ilustrada y diversidad de larvas de Trichoptera en el Noroccidente de Colombia. En: *Revista Caldasia*. 25 (1): 169-192.
- Reinoso, G,** 1998. Estudio de la fauna benticadel río Combeima, Ibagué, Colombia. En: *Memorias XXXIII Congreso Nacional de Ciencias Biológicas-ACCB*. Ibagué, Universidad del Tolima.
- Riaño, P., Basaguren, A. & Pozo, J.** 1993. Variaciones espaciales en las comunidades de macroinvertebrados de río Aguera (Pais Vasco-Cantabria) en dos épocas con diferentes condiciones de regimen hidrológico. *Limnética* 9: 19-28.
- Richards, C., Host, G.E. & Arthur, J.B.** 1993. Identification of predominant environmental factors structuring, stream macroinvertebrate communities within a large agricultural catchment. *Freshw. Biol.* 29:285-294.
- Rincón, M.E.** 2002. Comunidad de insectos acuáticos de la quebrada Mamarramos (Boyacá, Colombia). *Revista Colombiana de Entomología*. 28(1): 101-108.
- Roldán, G.** 1988. Guía para el estudio de los Macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Fondo FEN-Colombia. Conciencias – Universidad de Antioquia. Ed. Presencia Ltda., Santafé de Bogotá. 217 pp.
- Roldán, G.** 1992. *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín. 529 pp.
- Roldán, G.** 1999. Los Macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Rev. Acad .Col .Cien.Exa. Fís. Nat. XXIII* (88): 376-387.
- Roldán, G.** 2001. La Bioindicación y la calidad del agua. *Revista Universidad Católica de Oriente*. 13(14): 38-50.
- Roldán, G.** 2003. Bioindicación de la calidad de agua en Colombia: Uso del método BMWP/Col. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín. 170 p.
- Roldán, G.; Alvarez, L. F.; Gómez, M. I.; Velásquez, D. P. & 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. *Universidad Católica de Oriente. Rionegro, Antioquia*. pp 13-63.
- Sawyer C. & P. McCarty.** 1967. *Chemistry for Sanitary Engineers*. Second edition. McGraw.Hill Book Company. 517 p.
- Shannon, C. E. & W. Weaver.** 1949. *The mathematical theory of communication*. The University of Illinois. Urbana, IL. 125 p.
- Wiggins, G. B.** 1977. *Larvae of the North American Caddisfly Genera (Trichoptera)*. University of Toronto Press. 401 p.
- Zamora, G.H.** 1999. Adaptación del índice BMWP para la evaluación biológica de la calidad de las aguas epicontinentales en Colombia. *Rev. Unicauca. Ciencia*. 4: 47-60.
- Zúñiga de Cardozo, M.C.** 1985. Estudio de la ecología del río Cali con énfasis en su fauna béntónica como indicador biológico de calidad. *Rev. AINSA*, 8: 63-85.
- Zúñiga de Cardozo, M.C, M. Rojas & G. Caicedo.** 1997. Indicadores ambientales de calidad del agua en la cuenca del río Cauca. En: *Bioindicadores ambientales de la calidad del agua*, Universidad del Valle, Cali.

Recibido: 2 de mayo de 2007

Aceptado para su publicación: 7 de julio de 2008

### ANEXO: REGISTRO FOTOGRÁFICO DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS

Macroinvertebrados con puntaje BMWP/Col: 10



Gomphidae



Perlidae



Arachnoidea



Odontoceridae



Psephenidae



Lampyridae



Ptilodactylidae



Calamoceratidae



Oligoneuriidae

Macroinvertebrados con puntaje BMWP/Col: 9



Polycentropodidae



Hydrobiosidae



Gyrinidae



Leptophlebiidae

Macroinvertebrados con puntaje BMWP/Col: 8



Leptoceridae



Hydrobiidae



Pseudothelphusidae



Gerridae



Veliidae



Larva



Pupa



Vista dorsal



Vista ventral

Helicopsychidae

Simuliidae

Macroinvertebrados con puntaje BMWP/Col: 7



Leptohiphidae



Baetidae



Glossosomatidae



Naucoridae



Coenagrionidae



Hyalellidae



Calopterygidae

Macroinvertebrados con puntaje BMWP/Col: 6



Libellulidae



Corydalidae



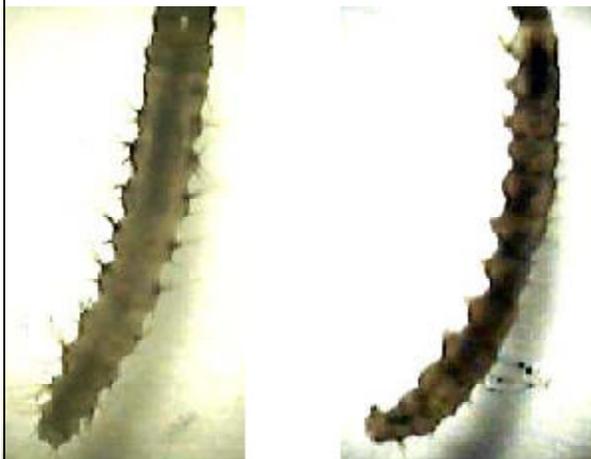
Elmidae – adulto



Elmidae - larvas



Macroinvertebrados con puntaje BMWP/Col: 5



Pyralidae



Belostomatidae



Planorbidae

Macroinvertebrados con puntaje BMWP/Col: 4



Sphaeriidae



Scarabidae



Chrysomelidae



Stratiomyidae

Macroinvertebrados con puntaje BMWP/Col: 3



Tipulidae



Ceratopogonidae



Glossiphoniidae



Physidae

