



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
EDUCACIÓN ABIERTA Y A DISTANCIA

Informe Final del Proyecto:

**Análisis de presencia y distribución de macroinvertebrados bentónicos,
indicadores de calidad de agua en ambientes fluviales**

**Estrella Cárdenas-Castro, Ligia Lugo-Vargas, Julio Alberto González-
Acosta**

Universidad Santo Tomás

Facultad de Ciencias y Tecnologías

Programa Administración Ambiental y de los Recursos Naturales

Bogotá

2018

Análisis de presencia y distribución de macroinvertebrados bentónicos, indicadores de calidad de agua en ambientes fluviales

Resumen

El objetivo de este estudio fue hacer un inventario de macroinvertebrados bentónicos, analizar su composición, distribución y abundancia, caracterizar la calidad del agua del Río Teusacá utilizando el Índice Biótico de Familia (IBF) comparado con cinco parámetros químicos. En la zona de estudio se georreferenciaron y establecieron 10 sitios para el estudio y se realizaron dos muestreos: uno al finalizar una época seca y otro en al finalizar una época lluviosa. Se recolectaron tres muestras de macroinvertebrados y una muestra de agua de un litro por cada sitio. Las muestras de agua fueron analizadas en un laboratorio certificado para los siguientes parámetros: carbono orgánico total, nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos. Se estimaron las siguientes métricas: composición de taxones, abundancia, tolerancia índice Biótico de Familia, índice Margalef, índice de Shannon-Weaver e índice de Pielou. Los valores del IBF fueron congruentes con lo reportado en el análisis químico para calidad del agua. Se encontró que el carbono orgánico total y los fosfatos presentaron valores muy altos en los sitios con calidad de agua regular, nociva y muy nociva; mientras que los nitritos, nitratos y sulfatos en todos los muestreos mantuvieron sus valores muy por debajo de los valores permitidos para consumo humano. Estos resultados indican un alto nivel de impacto antropogénico en la subcuenca y los principales contaminantes fueron el carbono orgánico total y los fosfatos.

Palabras clave: Índice Biotico de Familia, macroinvertebrados bénticos, calidad del agua, ambiente fluvial.

Abstract

This study aimed to survey the benthic macroinvertebrate, to analyze their composition, distribution and abundance, to characterize the water quality in Teusacá River using the Family Biotic Index (FBI) and their correlation with five chemical parameters. 10 sites were georeferenced and established on the study area and two samples were taken: one at the end of a dry season and another at the end of a rainy season. Three Macroinvertebrates samples and a litre water sample per each site were collected. Water samples for the following parameters: total organic carbon, nitrites, nitrates, sulphates and phosphates were analyzed at a certified laboratory. The following metrics were estimated: taxa composition, abundance, tolerance, Family Biotic Index, Margalef Index, Shannon-Weaver Index and Pielou Index. The FBI values for the water quality were consistent with those reported in the chemical analysis. Total organic carbon and phosphates presented very high values in the water of sites with fair, fairly poor, poor and very poor water quality; while the nitrites, nitrates and sulfates maintained their values well below the allowable values for human consumption in all sampling. These results suggested high level of anthropogenic impact in the subbasin and the main pollutants were the total organic carbon and phosphates.

Key Words: Family Biotic Index, benthic macroinvertebrates, water quality, ambient River.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Actualmente, es común utilizar criterios biológicos para estimar el efecto de las intervenciones humanas en los ecosistemas fluviales, estudiar sus cambios en el tiempo y protegerlos (Norris y Hawkins, 2000). Entre los indicadores biológicos más utilizados en la evaluación de los ecosistemas fluviales y calidad de las aguas; a nivel global se destacan los macroinvertebrados bentónicos, ya que presentan ventajas respecto a otros componentes de la biota acuática; primero por su presencia en casi todos los sistemas acuáticos continentales, lo cual facilita hacer estudios comparativos; además su naturaleza sedentaria posibilita un análisis espacial de los efectos de las perturbaciones en el ambiente (Rosenberg y Resh 1993). En Colombia son bien conocidos los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera como bioindicadores de calidad de agua y el índice BMWP (Biological Monitoring Working Party) el cual se utiliza en Colombia y Latinoamérica (Roldan, 2016). Sin embargo, no se ha aplicado en Colombia, el Índice Biótico de Familia, utilizado ampliamente en Estados Unidos con buenos resultados. En el presente trabajo se hace un análisis multimétrico de macroinvertebrados en diez sitios del Rio Teusacá, en donde se tomaron en cuenta para la evaluación de la calidad del agua las siguientes métricas: composición de taxa hasta familia, diversidad, equitabilidad, tolerancia a la contaminación, se ajustan los valores de tolerancia con base en el ABI para los ríos alto andinos y se determina la calidad de agua con base en IBF e Índice Biótico de Familia (IBF). El IBF fue comparado con parámetros químicos de análisis de laboratorio de muestras de agua. Este trabajo es un aporte al conocimiento y aplicación de este índice en nuestro país.

2. INTRODUCCIÓN TEÓRICA

En las últimas décadas se ha venido estudiando la interrelación entre el ambiente y la salud humana y cada vez se hace más necesario, identificar y establecer factores relevantes en esta interrelación que permitan a los encargados de la vigilancia y control del ambiente, tomar las mejores decisiones para la conservación del entorno, que a su vez favorezcan en bienestar humano animal y vegetal, sin que esto implique un estancamiento en los procesos de industrialización o avance económico de las comunidades.

En la interrelación humana con los recursos naturales, el agua a través de la historia ha sido esencial para el surgimiento de las civilizaciones y la supervivencia; es así como, la conservación de su calidad es fundamental para la salud de las comunidades. Dada la importancia del recurso agua; las cuencas hidrográficas son consideradas a nivel mundial como sistemas, en donde tienen

lugar múltiples relaciones e interdependencias entre recursos naturales y factores humanos (Dourojeanni et al., 2002). La cuenca como unidad territorial es la base del subsistema social que se puede caracterizar por factores demográficos, económicos, culturales, sanitarios, que causan impactos sobre el ambiente y sus elementos (Schröder et al., 2013).

Se han incluido organismos para el biomonitoreo de agua dulce como micrófitos, macroinvertebrados y peces como indicadores de contaminación. El biomonitoreo de aguas con macroinvertebrados acuáticos es tradicional en el viejo continente y están siendo utilizado en varios países del mundo (Hellowell, 1986; Hilsenhoff, 1988; Sharma y Moog, 1996; Figueroa et al., 2003; Bae et al., 2005; Bonada et al. 2006; Kubosova et al. 2010; Kennen et al., 2012; Cortes, et al. 2013; Roldan, 2016).

A nivel mundial, es creciente la preocupación por entender y proteger los ecosistemas fluviales y se han desarrollado metodologías biológicas para estimar la salubridad de sus aguas. Entre los indicadores biológicos más utilizados en la evaluación de los ecosistemas fluviales, se destacan los macroinvertebrados bentónicos, por las ventajas que presentan con respecto a otros componentes de la biota acuática; como son: presencia en casi todos los sistemas acuáticos continentales, lo cual facilita los estudios comparativos; por su naturaleza sedentaria posibilita el análisis espacial de los efectos de las perturbaciones en el agua; porque los muestreos cuantitativos su el análisis se pueden realizar con equipos simples y de bajo costo; y por la disponibilidad de métodos e índices para el análisis de datos, que se han venido validando en diferentes ríos del mundo (Rosenberg y Resh 1993).

Los invertebrados acuáticos generalmente se distribuyen en el lecho de las corrientes de agua y muchas de estas especies en el transcurso del tiempo han venido desarrollando adaptaciones fisiológicas y morfológicas fuertemente asociadas con las condiciones del hábitat (Pardo y Armitage, 1997). Por ejemplo, especies de formas planas se adaptan a la superficie de rocas expuestas a corrientes fuertes y se alimentan de microorganismos adheridos a la misma roca; otras especies habitan entre arena y lodo adaptándose a bajas concentraciones de oxígeno; mientras que otras necesitan fuentes de alimentación especial como hojarasca y madera asociadas a fuentes ricas en materia orgánica (Kubosova et al, 2010).

Los ensamblajes de macroinvertebrados de agua dulce han proporcionado información valiosa para desarrollar programas de evaluación de la calidad del agua por más de un siglo (Jackson y Fueeder, 2006). Los índices de integridad biológica (IIB) convierten la información de varios atributos biológicos de los ensamblajes de macroinvertebrados acuáticos en un solo valor. Los IIB se han popularizado para evaluar y gestionar la condición del agua de los ríos (Rehn et al.,

2007; Stoddard et al., 2008), de los lagos (Drake y Valle, 2005; Beck y Hatch, 2009), de los humedales (Lunde y Resh, 2012) y de los estuarios (Weisberg et al., 1997).

La identificación de cambios temporales naturales en la condición biológica es fundamental para una evaluación efectiva de los ecosistemas acuáticos (Urquhart et al., 1998; Kennen et al., 2012), puesto que, tales cambios son fuentes posibles de incertidumbre en la estimación de calidad biológica con la fauna observada (Hughes et al., 1998). Existen pocos estudios en los cuales se han incorporado datos bentónicos de diferentes años (Jackson y Fuereder, 2006). Un análisis multitemporal puede generar abundante información, como por ejemplo, establecer cuáles son las principales especies indicadoras de salud del ecosistema, cuál debe ser su población y cuales especies deben estar asociadas de manera que puedan ser utilizadas para evaluar el ecosistema a través del tiempo de manera simplificada, así como las posibles variaciones de las poblaciones de macroinvertebrados inducidas por cambios en la calidad del agua y el clima.

Índices bióticos

Los índices bióticos son una de las formas más comunes de establecer la calidad biológica de los ríos y de los ecosistemas. Se suelen expresar en forma de un valor numérico único que sintetiza las características de todas las especies presentes. Habitualmente consisten en la combinación de dos o tres propiedades de la asociación: la riqueza de taxa y la tolerancia/intolerancia a la contaminación para los índices cualitativos, y estos junto a la abundancia (absoluta o relativa) para los índices cuantitativos.

Existen mediciones de calidad de agua basadas en macroinvertebrados, de los cuales se han estimados los siguientes índices: índice Biótico de Familias (IBF), índice EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera) Biological Monitoring Working Party (BMWP) y parámetros fisicoquímicos (Mandaville, 2002). El IBF se está utilizando con frecuencia para analizar el agua en diferentes sectores de un río (Figuroa et al., 2003; Cortes, et al. 2013).

El Índice Biótico de Familias (IBF), fue perfeccionado por Hilsenhoff (1988); quien resumió las diferentes tolerancias de una comunidad de macroinvertebrados bentónicos en un único valor. Los valores de tolerancia los especificó para cada familia taxonómica por ponderación de la abundancia relativa respectiva.

Además, existen otros índices bióticos que miden la diversidad de especies y sus derivados, como el índice de Margalef, el cual relaciona la abundancia total con respecto al número de taxa o el índice de Shannon-Weaver (H') que incluye la distribución relativa de los individuos. Quienes han utilizado estos índices consideran que los ríos que no han sufrido alteraciones presentan altos

índices de biodiversidad (Magurran, 2004). Sin embargo, la diversidad de Shannon-Weaver (H') y la Equitatividad de Pielou con frecuencia se incluyen en índices multimétricos en donde los macroinvertebrados se determinan solo hasta nivel de familia.

Se presentan los resultados de un análisis multimétrico de macroinvertebrados bentónicos en donde se tomaron en cuenta para la evaluación de la calidad del agua del Río Teusacá las siguientes métricas: composición de taxa hasta familia, diversidad, equitatividad, tolerancia a la contaminación e Índice Biótico de Familia (IBF). El IBF fue comparado con parámetros químicos de análisis de laboratorio de muestras de agua.

3. MATERIALES Y METODOS

Ubicación de puntos de muestreo. Se utilizó un GPS Garmin para la georreferenciación de cada sitio; en la Figura 1, se presenta la ubicación de cada punto de muestreo, en cinco sitios distribuidos en el sector de la Calera y cinco sitios en el sector de Sopo a lo largo del Río Teusacá. La subcuenca del Río Teusacá hace parte de la cuenca del Río Bogotá está ubicada al oriente de la ciudad de Bogotá.

Recolección de muestras de agua. Se tomaron 10 muestras de agua al finalizar la época de verano entre el 22 y 23 de Octubre de 2016 y 10 muestras de agua al finalizar una época invierno entre el 29 y 30 de Julio de 2017. Se recolectó un litro de agua en cada sitio en un envase plástico de la misma capacidad e inmediatamente se almacenaron en una bolsa plástica negra para el transporte al Laboratorio “Dr. Calderón” para el análisis físico-químico.

Recolección y análisis de muestras de macroinvertebrados. Se tomaron 30 de macroinvertebrados bentónicos al finalizar la época de verano entre el 22 y 23 de Octubre de 2016 y 30 muestras de macroinvertebrados al finalizar una época invierno entre el 29 y 30 de Julio de 2017. Se tomaron tres muestras de macroinvertebrados acuáticos por sitio, utilizando una red Surber (Figuras 2 y 3) provista de una malla de 500 micras y 0,09 m² de área de superficie. Las muestras colectaron en recipientes plásticos etiquetados (6 cm x 4 cm de diámetro) y se fijaron en alcohol al 70%. La separación y determinación taxonómica de las muestras de macroinvertebrados se realizó en el laboratorio de Ecología de la Universidad Santo Tomás. Para el análisis y la determinación taxonómica de los macroinvertebrados se utilizó un estereomicroscopio y las claves taxonómicas de Oscoz et al. (2011), Prat et al. (2012) y Roldan (2012).

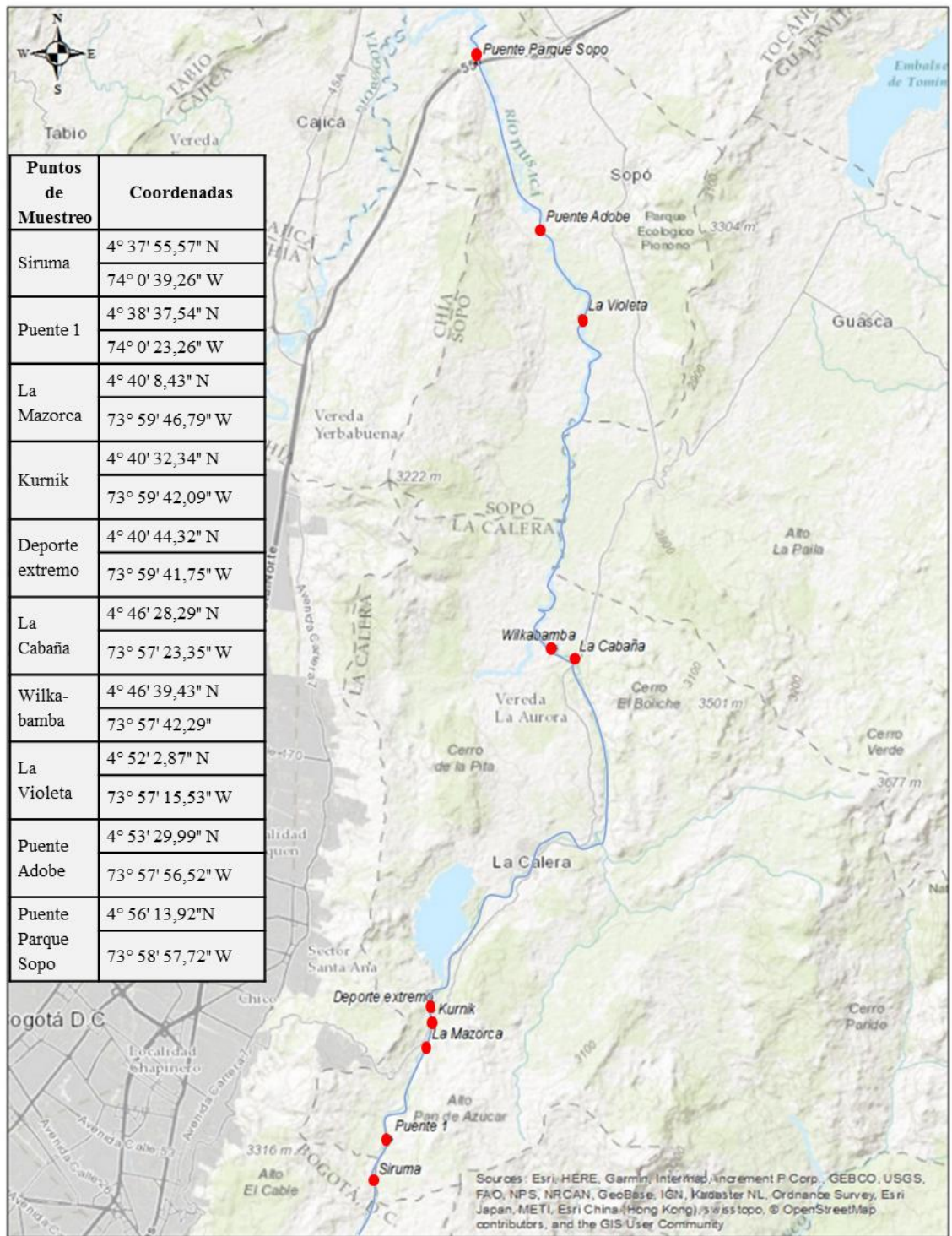


Figura 1. Ubicación de los 10 puntos de muestreo de macroinvertebrados en el Río Teusacá, Cundinamarca.



Figura 2. La flecha muestra la Red Surber utilizada para la captura de macroinvertebrados. Fotografía de los autores, sitio Puente 1, La Calera.



Figura 3. La flecha indica una toma de muestra con la red Surber, en donde el lecho del río estaba aproximadamente a dos metros de profundidad. Fotografía de los autores, sitio La Violeta, Sopo.

Técnicas estadísticas utilizadas para el análisis de los datos de los macroinvertebrados con relación a la calidad del agua

Estimación del Índice Biótico de Familia

Con los datos obtenidos de la determinación taxonómica de macroinvertebrados hasta familia y el número de individuos, se elaboraron tablas para la estimación del índice biótico de familia y la clasificación de la calidad de agua por cada sitio de muestreo.

Con base en los valores del ABI para los ríos alto andinos (Ríos et al. 2014), se estimaron los valores de tolerancia (Tabla 1), para aplicar el Índice Biótico de Familia (IBF), siguiendo la metodología de Hilsenhoff (1988).

El IBF se calcula haciendo la sumatoria del producto del número de individuos encontrados por cada familia por el valor de tolerancia respectivo de esa familia; dividido entre el número total de individuos de la muestra. Se obtiene con la siguiente ecuación:

$$IBF = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i * T_i)}{\sum_{i=1}^n n_i}$$

Donde, X_i = número de individuos de cada familia T_i = Valor de tolerancia de cada familia, n_i = número total de organismos.

Tabla 1. Valores de Tolerancia ajustados para la aplicación del FBI (Hilsenhoff, 1988) con base en el Andean Biotic Index (Ríos et al. 2014) para macroinvertebrados acuáticos

Clase	Orden	Familia	Andean Biotic Index (Ríos et al. 2014)	Valores de Tolerancia ajustados para la aplicación del FBI (Hilsenhoff, 1988)	Clase	Orden	Familia	Andean Biotic Index (Ríos et al. 2014)	Valores de Tolerancia ajustados para la aplicación del FBI (Hilsenhoff, 1988)		
Hydrozoa		Hydridae (Roldan, 2012)	10	0			Hydrotilidae	6	4		
Turbellaria	Tricladia		5	5			Xiphocentronidae	8	2		
Hyrudinea			3	7			Hydrobiosidae	8	2		
Oligoqueta		Tubificidae	1	9			Glossosomatidae	7	3		
Gasteropoda		Ancylidae	6	4			Hydropsychidae	5	5		
		Physidae	3	7			Anomalopsychidae	10	0		
		Hydrobiidae	3	7			Philopotamidae	8	2		
		Limnaeidae	3	7			Limnephilidae	7	3		
		Planorbidae	3	7		Lepidoptera	Pyralidae	4	6		
Bivalvia		Sphaeriidae	3	7		Coleoptera	Ptilodactylidae	5	5		
Bivalvia		Hyriidae	3	7			Lampyridae	5	5		
Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	6	4			Psephenidae	5	5		
Ostracoda			3	7			Scirtidae (Helodidae)	5	5		
Acari	Hydracarina		4	6			Staphylinidae	3	7		
Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	4	6	Insecta		Elmidae	5	5		
		Leptophlebiidae	10	0			Dryopidae	5	5		
		Leptohyphidae	7	3			Gyrinidae	3	7		
	Odonata	Oligoneuridae	10	0			Dytiscidae	3	7		
		Aeshnidae	6	4			Hydrophilidae	3	7		
		Gomphidae	8	2			Hydraenidae	5	5		
		Libellulidae	6	4			Diptera	Athericidae	10	0	
		Coenagrionidae	6	4				Blepharoceridae	10	0	
		Calopterygidae	8	2				Simuliidae	5	5	
		Polythoridae	10	0				Tabanidae	4	6	
		Plecoptera	Perlidae	10		0			Tipulidae	5	5
			Gripopterygidae	10		0			Limoniidae	4	6
		Heteroptera	Veliidae	5		5			Ceratopogonidae	4	6
	Gerridae		5	5				Dixidae	4	6	
	Corixidae		5	5				Psychodidae	3	7	
	Notonectidae		5	5				Dolichopodidae	4	6	
	Belostomatidae		4	6				Stratiomyidae	4	6	
	Naucoridae		5	5				Empididae	4	6	
	Trichoptera		Helicopsychidae	10		0			Chironomidae	2	8
			Calamoceratidae	10		0			Culicidae	2	8
Odontoceridae		10	0			Muscidae	2	8			
Leptoceridae		8	2			Ephydriidae	2	8			
	Polycentropodidae	8	2			Syrphidae	1	9			

Determinación de la calidad del agua con IBF

Para estimar la calidad de agua se siguió el procedimiento de Hilsenhoff (1988) y se contrastó el IBF obtenido con el criterio de la Tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de calidad de agua basada en el Índice biótico de Familia (IBF) según Hilsenhoff (1988)

IBF	Calidad de agua	Grado de contaminación orgánica
0,00-3,75	Excelente	Agua limpia. Contaminación orgánica poco probable
3,76-4,25	Muy buena	Con leve contaminación orgánica
4,26-5,00	Buena	Con algo de contaminación orgánica
5,01-5,75	Regular	Contaminación orgánica presente
5,76-6,50	Malsana	Alta contaminación orgánica
6,51-7,25	Nociva	Fuerte contaminación orgánica
7,26-10,00	Muy Nociva	Contaminación orgánica severa

Estimación de Índices de diversidad

Se estimaron los índices Margalef, índice de Shannon-Wiener y el índice de Pielou, siguiendo la metodología propuesta por Moreno (2001) para cada sitio de muestreo.

El índice de Margalef relaciona el número de especies y el número total de individuos. Se estima con la siguiente ecuación:

$$D_{Mg} = \frac{S - 1}{\ln N}$$

Donde, S = número de especies y N = número total de individuos.

Un índice de biodiversidad de Margalef igual a cero (0) indica que en un área existe una sola especie, valores inferiores a 2,0 es indicativo de baja diversidad y valores por encima de 5,0 son indicativos de alta biodiversidad (Magurran, 2004).

El índice de Shannon-Wiener indica qué tan uniformes están representadas las especies en una muestra en cuanto a abundancia. La ecuación de cálculo es la siguiente:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Donde, p_i = abundancia proporcional de la especie i , obtenida dividiendo el número de individuos de la especie i entre el número total de individuos de la muestra. Normalmente los valores se encuentran entre 1,5 y 3,5; en raras ocasiones se logra obtener un valor de 4,5 y se asume que todas las especies están representadas en la muestra. $H' = 0$ cuando la muestra contiene solo una especie y será máximo cuando todas las especies estén representadas por el mismo número de individuos (n_i), es decir, que la comunidad tenga una distribución de abundancia exactamente equitativa $H' = H'_{\max}$ (Magurran, 2004).

El índice de Pielou se calcula con base en los valores del índice diversidad de Shannon-Weiner y se estima con la proporción entre la diversidad observada y la máxima diversidad esperada. Se estima con la ecuación siguiente:

$$J' = \frac{H'}{\ln S} \Rightarrow \frac{H'}{H'_{\text{máxima}}}$$

Donde S = número de especies y H' es el valor del índice de Shannon-Wiener. Su valor varía entre 0 y 1; un valor igual a uno (1) indica que todas las especies de una muestra son igualmente abundantes (Magurran, 2004).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de la presencia y distribución de macroinvertebrados bentónicos y su relación con la calidad del agua del Río Teusacá, al finalizar una época seca en 2016

La Tabla 3, presenta un listado de familias de macroinvertebrados y el número de individuos encontrados por cada uno de los diez sitios analizados a lo largo del Río Teusacá al finalizar una época seca; con las claves disponibles se determinaron hasta subfamilias los Chironomidae encontrados y hasta género algunos ejemplares de otras familias. La Tabla 3, resume los resultados de la estimación del IBF y su relación con el grado de contaminación del agua comparado con los valores máximos permitidos para el consumo humano en Colombia, según la Resolución número 2115 de 2007.

A una altura de 2972 metros, como se observa en la Tabla 3, el valor de IBF estimado para los macroinvertebrados con valores de tolerancia entre 0 y 8, mostro una buena calidad del agua (Tabla

2); comparado este resultado con lo reportado por el análisis de laboratorio, los valores de los compuestos químicos de la muestra contenía carbono orgánico total, nitritos, nitratos y sulfatos por debajo del valor permitido para consumo humano; este aspecto indica que el parámetro biológico es congruente con lo reportado en el análisis químico de laboratorio. No obstante, los fosfatos en este sitio, presentaron un valor por encima del valor permitido; lo cual sugiere que la contaminación del agua sea por aguas residuales con detergentes de uso doméstico; dado que en los alrededores de este lugar se encuentran varias viviendas residenciales.

A alturas comprendidas entre 2954 y 2814 metros (Tabla 3), el valor de IBF estimado estuvo entre 5,30 y 5,67 para los macroinvertebrados con valores de tolerancia en su mayoría entre 4 y 8, mostrando una calidad del agua regular (Tabla 2); comparado este resultado con lo reportado por el análisis de laboratorio, los valores carbono orgánico y fosfatos estaban por encima de los valores permitidos para consumo humano; mientras que los nitritos, nitratos y sulfatos estaban por debajo de los valores permitidos. En estos sitios la calidad del agua regular muy probablemente se dio por materia orgánica en descomposición y fosfatos por aguas residuales acumuladas de las viviendas residenciales de estos sectores.

A partir de los 2586 hasta los 2572 metros de altura (Tabla 3), el valor de IBF estuvo entre 5,90 y 6,29 para los macroinvertebrados encontrados con valores de tolerancia en su mayoría entre 5 y 8; con calidad de agua malsana; comparados estos resultados con lo reportado por el análisis de laboratorio los valores de carbono orgánico total estaba entre 11,22 y 17,12 mg/L y los fosfatos estaban entre 2,06 y 10,87 mg/L, los valores de los nitritos, nitratos y sulfatos siguen por debajo de los valores permitidos. En estos sitios la calidad malsana del agua por alto contenido en materia orgánica en descomposición y altos contenidos de fosfatos producto de la acumulación del río de aguas residuales de las residencias del sector.

Cuando el agua del río Teusacá llega al Parque El Sopo en la Autopista Norte a una altura de 2572 metros, se estimó un IBF de 7,44 que según la Tabla 2, es nociva; el contenido de carbono orgánico total fue de 20,67 y el de fosfatos 27,81 mg/L. A esta altura el río ha recogido todas las aguas residuales residenciales de Sopo y de todo el sector industrial de este municipio incrementado de forma preocupante su contaminación. Los pocos macroinvertebrados encontrados en este sitio presentaron altos valores de tolerancia a la contaminación.

Tabla 3. Resumen de la composición de Macroinvertebrados, abundancia, tolerancia, IBF y análisis de laboratorio, con datos tomados entre el 22 y 23 de octubre de 2016 en 10 sitios del Rio Teusacá.

Sitio	Altura (msnm)	Clase	Orden	Familia	Subfamilia	Genero	No. Individuos (Xi)	Tolerancia (Ti)	Xi*Ti	IBF	Calidad del agua	Grado de contaminación	Análisis de laboratorio		Valor máximo permitido consumo humano mg/L
													Compuesto químico	Reporte mg/L	
Siruma	2972	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae			69	6	414	4,79	Buena	Contaminación orgánica poco probable	Compuesto químico	Reporte mg/L	Valor máximo permitido consumo humano mg/L
		Insecta	Trichoptera	Philopotamidae			27	2	54				COT	4,13	5
		Insecta	Trichoptera	Hydroptilidae		<i>Hydroptila</i>	25	4	100				Nitritos	< 0,1	0,1
		Insecta	Diptera	Simuliidae			36	5	180				Nitratos	0,72	10
		Insecta	Diptera	Athericidae			5	0	0				Sulfatos	6,84	250
		Insecta	Diptera	Ceratopogonidae			14	6	84				Fosfatos	3,62	0,5
		Insecta	Diptera	Chironomidae	Tanypodinae		9	8	72				COT: Carbono Orgánico Total		
		Insecta	Diptera	Chironomidae	Orthocladiinae	<i>Onconeura</i>	7	8	56						
		Insecta	Diptera	Tipulidae			8	5	40						
		Insecta	Diptera	Tabanidae			1	6	6						
		Hydrozoa	Hydroida	Hydridae			9	0	0						
							TOTAL	210					1006		
Puente 1	2954	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae			22	6	132	5,65	Regular	Contaminación orgánica probable			
		Insecta	Trichoptera	Philopotamidae			5	2	10				COT	7,1	5
		Insecta	Trichoptera	Hydroptilidae		<i>Hydroptila</i>	37	4	148				Nitritos	< 0,1	0,1
		Insecta	Diptera	Ceratopogonidae			32	6	192				Nitratos	0,89	10
		Insecta	Diptera	Chironomidae	Tanypodinae		5	8	40				Sulfatos	4,23	250
		Insecta	Diptera	Chironomidae	Orthocladiinae	<i>Onconeura</i>	4	8	32				Fosfatos	2,27	0,5
		Insecta	Diptera	Chironomidae	Chironominae		1	8	8						
		Insecta	Diptera	Simuliidae			1	5	5						
		Insecta	Diptera	Tipulidae			4	5	20						
		Insecta	Diptera	Tabanidae			1	6	6						
		Insecta	Hemiptera	Hebridae			1	5	5						
		Insecta	Hemiptera	Gerridae			1	5	5						
		Bivalvia	Unionida	Hyriidae			11	7	77						
		Bivalvia	Veneroidea	Sphaeriidae			9	7	63						
		Hyrudinea	Arhynchobdellida	Erpobdellidae		<i>Erpobdella</i>	9	7	63						
		Hyrudinea	Rhynchobdellida	Glossiphonidae			1	7	7						
							TOTAL	144					813		

Sitio	Altura (msnm)	Clase	Orden	Familia	Subfamilia	Genero	No. Individuos (Xi)	Tolerancia (Ti)	Xi*Ti	IBF	Calidad del agua	Grado de contaminación	Análisis de laboratorio		Valor máximo permitido consumo humano mg/L	
													Compuesto químico	Reporte mg/L		
La Mazorca	2892	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae			19	6	114	5,59	Regular	Contaminación orgánica probable	Compuesto químico	Reporte mg/L	Valor máximo permitido consumo humano mg/L	
		Insecta	Trichoptera	Hydroptilidae			<i>Hydroptila</i>	38	4				152	COT	7,08	5
		Insecta	Trichoptera	Philopotamidae				8	2				16	Nitritos	< 0,1	0,1
		Insecta	Diptera	Chironomidae	Tanypodinae		<i>Tanitarsus</i>	10	8				80	Nitratos	0,59	10
		Insecta	Diptera	Chironomidae	Orthoclaadiinae		<i>Onconeura</i>	3	8				24	Sulfatos	4,02	250
		Insecta	Diptera	Chironomidae	Chironominae			12	8				96	Fosfatos	2,27	0,5
		Insecta	Diptera	Simuliidae				13	5				65	COT: Carbono Orgánico Total		
		Insecta	Diptera	Empidae				1	6				6			
		Insecta	Diptera	Ceratopogonidae				2	6				12			
		Insecta	Coleoptera	Hidrottilidae				1	4				4			
		Hyrudinea	Arhynchobdellida	Erpobdellidae				6	7				42			
		Hyrudinea	Rhynchobdellida	Glossiphonidae				4	7				28			
		Bivalvia	Unionida	Hyriidae				2	7				14			
		Bivalvia	Veneroidea	Sphaeridae				7	7				49			
		Gasteropoda	Basommatophora	Planorbiidae			<i>Planorbis</i>	2	7				14			
TOTAL							128		716							
Kurnik	2819	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae			42	6	252	5,67	Regular	Contaminación orgánica probable	COT	6,13	5	
		Insecta	Trichoptera	Hydroptilidae			<i>Hydroptila</i>	68	4				272	Nitritos	< 0,1	0,1
		Insecta	Diptera	Chironomidae	Tanypodinae			2	8				16	Nitratos	0,46	10
		Insecta	Diptera	Chironomidae	Orthoclaadiinae			13	8				104	Sulfatos	2,01	250
		Insecta	Diptera	Chironomidae	Chironominae			14	8				112	Fosfatos	3,93	0,5
		Insecta	Diptera	Ceratopogonidae				8	6				48			
		Insecta	Diptera	Simuliidae				33	5				165			
		Insecta	Diptera	Limoniidae				1	6				6			
		Insecta	Diptera	Empididae				1	6				6			
		Insecta	Coleoptera	Haliplidae				1	6				6			
		Annelida	Hirudinea	Erpobdellidae				19	7				133			
		Annelida	Hirudinea	Glossiphonidae				4	7				28			
		Malacostraca	Amphipoda	Gammaridae			<i>Gammarus</i>	6	6				36			
		Bivalvia	Unionida	Hyriidae				6	7				42			
		Bivalvia	Veneroidea	Sphaeridae				4	7				28			
		Turbellaria	Tricladia	Dugesidae			<i>Dugesia</i>	4	5				20			
		Gastropoda	Basommatophora	Planorbiidae			<i>Planorbis</i>	5	7				35			
		Gastropoda	Basommatophora	Physidae			<i>Physa</i>	1	7				7			
TOTAL							232		1316							

Sitio	Altura (msnm)	Clase	Orden	Familia	Subfamilia	Genero	No. Individuos (Xi)	Tolerancia (Ti)	Xi*Ti	IBF	Calidad del agua	Grado de contaminación	Análisis de laboratorio		Valor máximo permitido consumo humano mg/L
													Compuesto químico	Reporte mg/L	
Deporte Extremo	2814	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae			72	6	432	5,30	Regular	Contaminación orgánica probable	Compuesto químico	Reporte mg/L	Valor máximo permitido consumo humano mg/L
		Insecta	Trichoptera	Hydroptilidae		<i>Hydroptila</i>	57	4	228				COT	6,72	5
		Insecta	Diptera	Simuliidae			307	5	1535				Nitritos	< 0,1	0,1
		Insecta	Diptera	Ceratopogonidae			2	6	12				Nitratos	0,93	10
		Insecta	Diptera	Chironomidae	Chironominae	<i>Polypeditum</i>	5	8	40				Sulfatos	9,45	250
		Insecta	Diptera	Chironomidae	Tanypodinae		3	8	24				Fosfatos	4,97	0,5
		Insecta	Diptera	Chironomidae	Orthoclaadiinae		15	8	120				COT: Carbono Orgánico Total		
		Insecta	Diptera	Empididae			1	6	6						
		Malacostraca	Amphipoda	Gammaridae		<i>Gammarus</i>	48	6	288						
		Bivalvia	Unionida	Hyriidae			1	7	7						
		Bivalvia	Veneroida	Sphaeriidae			1	7	7						
		Gastropoda	Basommatophora	Physidae		<i>Physa</i>	7	7	49						
		Gastropoda	Basommatophora	Planorbidae		<i>Planorbis</i>	1	7	7						
		Turbellaria	Tricladia	Dugesidae		<i>Dugesia</i>	5	5	25						
TOTAL							525		2780						
La Cabaña	2586	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae			10	6	60	5,90	Malsana	Alta contaminación orgánica	COT	11,22	5
		Insecta	Trichoptera	Hydroptilidae		<i>Hydroptila</i>	4	4	16				Nitritos	0,1	0,1
		Insecta	Diptera	Simuliidae			13	5	65				Nitratos	0,59	10
		Insecta	Diptera	Chironomidae	Orthoclaadiinae		1	8	8				Sulfatos	5,01	250
		Malacostraca	Amphipoda	Gammaridae		<i>Gammarus</i>	231	6	1386				Fosfatos	2,27	0,5
		Hyrudinea	Arhynchobdellida	Erpobdellidae			7	7	49						
		Turbellaria	Tricladia	Dugesidae		<i>Dugesia</i>	18	5	90						
		Bivalvia	Veneroida	Sphaeriidae			1	7	7						
		TOTAL							285					1681	
Wilka-bamba	2584	Insecta	Trichoptera	Hydroptilidae		<i>Hydroptila</i>	3	4	12	5,96	Malsana	Alta contaminación orgánica	COT	12,99	5
		Insecta	Diptera	Chironomidae	Chironominae		2	8	16				Nitritos	0,15	0,1
		Insecta	Hemiptera	Pleidae			2	2	4				Nitratos	1,9	10
		Insecta	Hemiptera	Noctonectidae			1	5	5				Sulfatos	9,03	250
		Insecta	Odonata	Calopterygidae			1	2	2				Fosfatos	3,19	0,5
		Malacostraca	Amphipoda	Gammaridae		<i>Gammarus</i>	256	6	1536						
		Turbellaria	Tricladia	Dugesidae		<i>Dugesia</i>	2	5	10						
		Gastropoda	Basommatophora	Physidae		<i>Physa</i>	6	7	42						
TOTAL							273		1627						

Sitio	Altura (msnm)	Clase	Orden	Familia	Subfamilia	Genero	No. Individuos (Xi)	Tolerancia (Ti)	Xi*Ti	IBF	Calidad del agua	Grado de contaminación	Análisis de laboratorio		Valor máximo permitido consumo humano mg/L
													Compuesto químico	Reporte mg/L	
La Violeta	2580	Insecta	Trichoptera	Hydroptilidae		<i>Hydroptila</i>	3	4	12	6,29	Malsana	Alta contaminación orgánica	Compuesto químico	Reporte mg/L	Valor máximo permitido consumo humano mg/L
		Insecta	Diptera	Chironomidae	Tanypodinae	<i>Tanytarsus</i>	1	8	8				COT	14,76	5
		Insecta	Hemiptera	Noctonectidae			23	5	115				Nitritos	0,05	0,1
		Insecta	Odonata	Calopterygidae			2	2	4				Nitratos	1,52	10
		Malacostraca	Amphipoda	Gammaridae		<i>Gammarus</i>	289	6	1734				Sulfatos	8,43	250
		Hyrudinea	Arhynchobdellida	Erpobdellidae			10	7	70				Fosfatos	2,06	0,5
		Hyrudinea	Rhynchobdellida	Glossiphonidae			18	7	126				COT: Carbono Orgánico Total		
		Bivalvia	Unionida	Hyriidae			5	7	35						
		Bivalvia	Veneroida	Sphaeridae			1	7	7						
		Gastropoda	Basommatophora	Physidae		<i>Physa</i>	142	7	994						
TOTAL							494		3105						
Puente Adobe	2577	Insecta	Diptera	Simuliidae			3	5	15	5,99	Malsana	Alta contaminación orgánica	COT	17,12	5
		Insecta	Hemiptera	Noctonectidae			2	5	10				Nitritos	0,1	0,1
		Insecta	Odonata	Calopterygidae			4	2	8				Nitratos	2,55	10
		Insecta	Odonata	Libellulidae			1	4	4				Sulfatos	6,42	250
		Malacostraca	Amphipoda	Gammaridae		<i>Gammarus</i>	54	6	324				Fosfatos	10,87	0,5
		Hyrudinea	Arhynchobdellida	Erpobdellidae			14	7	98						
		Bivalvia	Unionida	Hyriidae			4	7	28						
		Gastropoda	Basommatophora	Physidae		<i>Physa</i>	4	7	28						
TOTAL							86		515						
Puente Parque Sopo Autopista Norte	2572	Insecta	Diptera	Chironomidae	Chironominae		4	8	32	7,44	Nociva	Contaminación orgánica fuerte	COT	20,67	5
		Insecta	Coleoptera	Gyrinidae			1	7	7				Nitritos	0,2	0,1
		Insecta	Coleoptera	Scirtidae			2	7	14				Nitratos	1,86	10
		Gastropoda	Basommatophora	Physidae		<i>Physa</i>	2	7	14				Sulfatos	8,85	250
		TOTAL							9					67	Fosfatos

La Tabla 4, presenta los índices de biodiversidad, equitabilidad y abundancia obtenidos de las muestras de Octubre de 2016. Se observa que el índice de diversidad de Margalef en la mayoría de los sitios de muestreo estuvo entre 1,24 y 3,12, indicativo de baja diversidad. El índice de Shannon-Wiener estuvo entre 0,34 y 2,24, lo cual indica que la abundancia de individuos en cada morfoespecie observada en todos los sitios de muestreo no fue uniforme ni equitativa; tal como se corrobora con el índice de Pielou en donde la abundancia máxima esperada tuvo valores mayores a la abundancia observada en todos los sitios de muestreo.

Tabla 4. Índices de Diversidad, número de morfoespecies, número de familias y número de órdenes de macroinvertebrados bentónicos encontrados entre el 22 y 23 de Octubre de 2016.

Municipio	Sitios de muestreo	Altura msnm	Índice Margalef	Índice Shannon-Weiner	Índice Pielou	No. Ordenes	No. Familias	No. Morfoespecies
La Calera	Siruma	2972	1,87	1,99	0,83	4	10	11
	Puente 1	2954	3,02	2,15	0,78	7	14	16
	La Mazorca	2892	2,89	2,24	0,83	8	13	15
	Kurnik	2819	3,12	2,22	0,77	10	16	18
	D. Extremo	2814	2,08	1,39	0,53	8	12	14
Sopo	La Cabaña	2586	1,24	0,39	0,38	7	8	8
	Wilkabamba	2584	1,25	0,34	0,16	7	8	8
	La Violeta	2580	1,46	1,14	0,4	9	10	10
	Puente Adobe	2577	1,57	1,27	0,61	8	8	8
	P. Parque Sopo	2572	1,37	1,27	0,92	4	4	4

Análisis de la presencia y distribución de macroinvertebrados bentónicos y su relación con la calidad del agua del Río Teusacá, al finalizar una época lluviosa en 2017

La Tabla 5, presenta los índices de biodiversidad, equitabilidad y abundancia obtenidos de las muestras de Julio de 2017. Se observa que el índice de diversidad de Margalef en la mayoría de los sitios de muestreo estuvo entre 0 y 2,34; lo cual indica baja diversidad en todos los sitios de muestreo. El índice de Shannon-Wiener estuvo entre 0,13 y 1,73; lo cual indica que la abundancia de individuos en cada morfoespecie observada en todos los sitios de muestreo no fue uniforme ni

equitativa; tal como se corrobora con el índice de Pielou que estuvo entre 0 y 0,89; por presentar valores por debajo de 1; la abundancia máxima esperada tuvo valores mayores a la abundancia observada en todos los sitios de muestreo.

Tabla 5. Índices de Diversidad, número de morfo-especies, número de familias y número de órdenes de macroinvertebrados bentónicos encontrados entre el 29 y 30 de Julio 2017

Municipio	Sitios de muestreo	Altura msnm	Índice Margalef	Índice Shannon-Weiner	Índice Pielou	No. Ordenes	No. Familias	No. Morfo-especies
La calera	Siruma	2972	1,49	1,18	0,54	5	9	9
	Puente 1	2954	1,1	1,22	0,76	4	5	5
	La Mazorca	2892	1,61	1,69	0,87	4	7	7
	Kurmik	2819	1,73	1,66	0,85	5	7	7
	D. Extremo	2814	1,56	1,48	0,76	6	6	7
Sopo	La Cabaña	2586	1,90	1,44	0,66	8	9	9
	Wilkabamba	2584	1,08	0,99	0,71	3	4	4
	La Violeta	2580	2,34	1,73	0,89	4	7	7
	Puente Adobe	2577	1,03	0,96	0,87	3	3	3
	P. Parque Sopo	2572	0	0,13	0	1	1	1

En la Tabla 6, se presenta un listado de familias de macroinvertebrados y el número de individuos encontrados por cada uno de los diez sitios analizados a lo largo del Rio Teusacá al finalizar una época lluviosa; además, resume los resultados de la estimación del IBF y su relación con el grado de contaminación del agua comparado con los valores máximos permitidos para el consumo humano en Colombia, según la Resolución número 2115 de 2007.

Como se observa en la Tabla 6, en los dos primeros sitios a alturas de 2972 y 2954 metros, el valor de IBF estimado fue de 4,84 y 4,74 respectivamente para los macroinvertebrados presentes, con valores de tolerancia entre 2 y 8, mostraron buena calidad del agua (Tabla 2); comparado este resultado con lo reportado por el análisis de laboratorio, los valores de los compuestos químicos de la muestra contenía carbono orgánico total, nitritos, nitratos y sulfatos por debajo del valor permitido para consumo humano; al igual que con el muestro de 2016; indica que el parámetro biológico es congruente con lo reportado en el análisis de laboratorio. No obstante, los fosfatos en estos dos sitios, presentaron un valor por encima del valor permitido; lo cual sugiere que la contaminación del agua posiblemente se deba por aguas residuales con restos de detergentes de uso doméstico de las viviendas

residenciales. Es de anotar que, en el muestreo de 2016 al finalizar la época seca a 2954 metros el agua mostro calidad regular y en el segundo muestreo se observó buena calidad del agua; posiblemente dado porque la alta corriente del rio arrastro componentes orgánicos en este sitio, no obstante los fosfatos presentaron valores por encima de lo permitido para consumo humano.

A una altura de 2892 metros (Tabla 5), presento un IBF de 5,62, con contenido de carbono orgánico total de 10,04 mg/L y 9,49 mg/ de fosfatos, lo cual caracterizo un agua regular. No obstante, los valores de concentración de nitritos, nitratos y sulfatos se mantuvo por debajo de los valores permitidos para el consumo humano.

En cuanto a las muestras tomadas a alturas comprendidas entre 2819 y 2584 metros (Tabla 6), el valor de IBF estimado estuvo entre 5,85 y 6,19; con contenido de carbono orgánico total y de fosfatos, mostrando una calidad del agua malsana (Tabla 2); mientras que los nitritos, nitratos y sulfatos siguen manteniéndose por debajo de los valores permitidos para consumo humano. En estos sitios la calidad del agua de dio probablemente por materia orgánica en descomposición y fosfatos acumulados por la corriente del rio acumuladas en estos lugares del rio.

A partir de los 2580 hasta los 2572 metros de altura (Tabla 6), el valor de IBF estuvo entre 6,85 y 9,00; con contaminación orgánica alta y severa, caracterizando un agua nociva y muy nociva; mientras que los nitritos, nitratos y sulfatos siguen por debajo de los valores permitidos. En estos sitios la calidad nociva y muy nociva; el rio ha arrasado y acumulado las aguas residuales residenciales de Sopo y de todo el sector industrial de este municipio incrementado de forma extrema su contaminación.

Tabla 6. Resumen de la composición de Macroinvertebrados, abundancia, tolerancia, IBF y análisis de laboratorio, con datos tomados entre el 29 y 30 de julio de 2017 en 10 sitios del Río Teusacá.

Sitio	Altura (msnm)	Clase	Orden	Familia	Subfamilia	Genero	No. Individuos (Xi)	Tolerancia (Ti)	Xi*Yi	IBF	Calidad del agua	Grado de contaminación	Análisis de laboratorio		Valor máximo permitido consumo humano mg/L
													Compuesto químico	Reporte mg/L	
Siruma	2972	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae			71	6	426	4,84	Buena	Contaminación orgánica poco probable			
		Insecta	Trichoptera	Philopotamidae			<i>Philotamus</i>	1	2				2		
		Insecta	Trichoptera	Hydroptilidae			<i>Hydroptila</i>	110	4				440		
		Insecta	Diptera	Simuliidae				25	5				125		
		Insecta	Diptera	Chironomidae	Orthocladinae			1	8				8		
		Insecta	Diptera	Ceratopogonidae				3	6				18		
		Insecta	Diptera	Tipulidae				3	5				15		
		Insecta	Coleoptera	Hydrophilidae				1	7				7		
		Turbellaria	Tricladia	Dugesidae			<i>Dugesia</i>	1	5				5		
TOTAL							216		1046						
Puente 1	2954	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae			18	6	108	4,74	Buena	Contaminación orgánica poco probable			
		Insecta	Trichoptera	Philopotamidae			<i>Philotamus</i>	10	2				20		
		Insecta	Diptera	Simuliidae				8	5				40		
		Insecta	Diptera	Tipulidae				1	5				5		
		Insecta	Coleoptera	Staphylinidae				1	7				7		
		TOTAL							38					180	
La Mazorca	2892	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae			4	6	24	5,62	Regular	Contaminación orgánica probable			
		Insecta	Diptera	Simuliidae				16	5				80		
		Insecta	Diptera	Chironomidae	Orthocladinae			4	8				32		
		Insecta	Diptera	Ceratopogonidae				8	6				48		
		Insecta	Diptera	Tipulidae				3	5				15		
		Hyrudinea	Arhynchobdellida	Erpobdellidae				1	7				7		
		Turbellaria	Tricladia	Dugesidae			<i>Dugesia</i>	6	5				30		
		TOTAL							42					236	
Kurnik	2819	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae			6	6	36	6,19	Malsana	Alta contaminación orgánica			
		Insecta	Trichoptera	Hydroptilidae			<i>Hydroptila</i>	7	4				28		
		Insecta	Diptera	Chironomidae	Orthocladinae			11	8				88		
		Insecta	Diptera	Ceratopogonidae				4	6				24		
		Insecta	Diptera	Simuliidae				1	5				5		
		Hyrudinea	Arhynchobdellida	Erpobdellidae				1	7				7		
		Turbellaria	Tricladia	Dugesidae			<i>Dugesia</i>	2	5				10		
		TOTAL							32					198	
													COT	14,4	5
													Nitritos	< 0,1	0,1
													Nitratos	0,06	10
													Sulfatos	5,7	250
													Fosfatos	4,42	0,5

Sitio	Altura (msnm)	Clase	Orden	Familia	Subfamilia	Genero	No. Individuos (Xi)	Tolerancia (Ti)	Xi*Yi	IBF	Calidad del agua	Grado de contaminación	Análisis de laboratorio		Valor máximo permitido consumo humano mg/L
													Compuesto químico	Reporte mg/L	
Deporte Extremo	2814	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae			5	6	30	5,98	Malsana	Alta contaminación orgánica			
		Insecta	Trichoptera	Hydroptilidae		<i>Hydroptila</i>	18	4	72						
		Insecta	Diptera	Chironomidae	Chironominae	<i>Polypedilum</i>	2	8	16						
		Insecta	Diptera	Chironomidae	Orthocladinae		14	8	112						
		Malacostraca	Amphipoda	Gammaridae		<i>Gammarus</i>	2	6	12						
		Bivalvia	<u>Unionida</u>	Hyriidae			1	7	7						
		Gastropoda	Basommatophora	Planorbidae		<i>Planorbis</i>	2	7	14						
		TOTAL							44					263	
													COT: Carbono Orgánico Total		
La Cabaña	2586	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae			9	6	54	5,85	Malsana	Alta contaminación orgánica probable			
		Insecta	Trichoptera	Hydroptilidae		<i>Hydroptila</i>	2	4	8						
		Insecta	Diptera	Chironomidae	Orthocladinae		1	8	8						
		Insecta	Diptera	Simuliidae			10	5	50						
		Insecta	Hemiptera	Noctonectidae			3	5	15						
		Malacostraca	Amphipoda	Gammaridae		<i>Gammarus</i>	38	6	228						
		Bivalvia	<u>Unionida</u>	Hyriidae			1	7	7						
		Hyrudinea	Arhynchobdellida	Erpobdellidae			3	7	21						
		Bivalvia	<u>Veneroida</u>	Sphaeriidae			1	7	7						
TOTAL							68		398						
Wilka-bamba	2584	Insecta	Diptera	Simuliidae			1	5	5	6,19	Malsana	Alta contaminación orgánica	COT	19,49	5
		Insecta	Diptera	Ceratopogonidae			1	6	6				Nitritos	< 0,1	0,1
		Malacostraca	Amphipoda	Gammaridae		<i>Gammarus</i>	10	6	60				Nitratos	0,09	10
		Hyrudinea	Arhynchobdellida	Erpobdellidae			4	7	28				Sulfatos	18,97	250
		TOTAL							16					99	
La Violeta	2580	Insecta	Coleoptera	Hidrophilidae			1	7	7	6,85	Nociva	Contaminación orgánica Severa			
		Insecta	Coleoptera	Dytiscidae			1	7	7						
		Malacostraca	Amphipoda	Gammaridae		<i>Gammarus</i>	2	6	12						
		Hyrudinea	Arhynchobdellida	Erpobdellidae			5	7	35						
		Hyrudinea	Rhynchobdellida	Glossiphonidae			2	7	14						
		Gastropoda	Basommatophora	Planorbidae		<i>Planorbis</i>	1	7	7						
		Gastropoda	Basommatophora	Physidae		<i>Physa</i>	1	7	7						
		TOTAL							13					89	
													COT	30,71	5
													Nitritos	< 0,1	0,1
													Nitratos	0,06	10
													Sulfatos	8,97	250
													Fosfatos	14,43	0,5

Sitio	Altura (msnm)	Clase	Orden	Familia	Subfamilia	Genero	No. Individuos (Xi)	Tolerancia (Ti)	Xi*Yi	IBF	Calidad del agua	Grado de contaminación	Análisis de laboratorio		Valor máximo permitido consumo humano mg/L				
													Compuesto químico	Reporte mg/L					
Puente Adobe	2577	Insecta	Diptera	Chironomidae			2	8	16	7,29	Nociva	Contaminación Orgánica Severa	COT	31,89	5				
		Bivalvia	Veneroida	Sphaeridae			4	7	28				Nitritos	< 0,1	0,1				
		Hyrudinea	Arhynchobdellida	Erpobdellidae			1	7	7				Nitratos	0,03	10				
		TOTAL						147					1071	Sulfatos	9,78	250			
														Fosfatos	19,4	0,5			
														COT: Carbono Orgánico Total					
Puente Parque Sopo Autopista Norte	2572	Oligoqueta	Clitellata	Tubificidae			19	9	171	9,00	Muy Nociva	Contaminación Orgánica Severa	COT	34,84	5				
		TOTAL						19					171	Nitritos	< 0,1	0,1			
														Nitratos	0,02	10			
														Sulfatos	6,63	250			
														Fosfatos	20,23	0,5			

Según Prat et al. (2009), el uso de los índices de Margalef, Shannon-Wiener y de Pielou para estimar la calidad del agua se ha limitado debido a que solo utilizan la riqueza y abundancia de especies y no consideran las diferencias de los organismos, en cuanto a niveles de tolerancia, sensibilidad a la contaminación ni la capacidad para adaptarse al ambiente acuático. Otra dificultad con los índices de diversidad es que pueden dar valores muy variables, y como generalmente en los macroinvertebrados se tienen en cuenta solo las familias; los géneros y las especies, pueden generar una mezcla de diferentes niveles taxonómicos y por lo tanto estos índices no ofrecen garantías en la utilización de bioindicadores de calidad de agua.

Según Armitage et al., (1983), las familias de macroinvertebrados intolerantes a la contaminación tienen puntajes altos; mientras que, las familias tolerantes a la contaminación tienen puntajes bajos; por consiguiente, un valor alto en el promedio del puntaje por taxón (ASPT), caracteriza aguas de un río limpio situado en tierras altas con contenido relativamente grande de taxones con puntuación alta. Los ríos en sitios de tierras bajas generalmente no soportan muchos taxones con alta puntuación y presentan valores más bajos de ASPT. De igual forma, Ríos et al. (2014) siguieron este concepto para la estimación del Andean Biotic Index; quienes presentan valores de intolerancia a la contaminación para macroinvertebrados de los ríos andinos situados por encima de 2000 msnm. Por el contrario, Hilsenhoff (1988); utiliza valores de tolerancia que vienen a ser el inverso de los valores de intolerancia de Armitage et al. (1983) y Ríos et al. (2014). Para Hilsenhoff (1988), valores bajos de IBF caracterizan el agua de ríos de partes altas con bajo contenido de contaminantes; mientras que valores altos de IBF caracterizan aguas de ríos altamente contaminadas; los resultados del presente trabajo son consistentes con lo obtenido por Hilsenhoff (1988) y Mandaville (2002).

Finalmente, se presentan 14 ejemplares representativos de la fauna béntica encontrados en el Río Teusacá (Figuras 4 al 17).

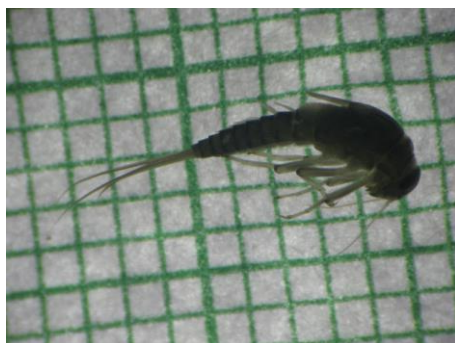


Figura 4. Ninfa del orden Ephemeroptera, familia Baetidae. Fotografía de los autores.



Figura 5. Larva del orden Trichoptera, familia Philopotamidae. Fotografía de los autores.

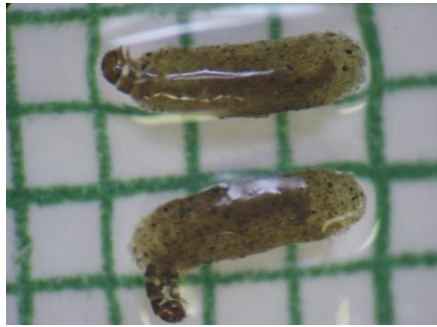


Figura 6. Larvas del orden Trichoptera, familia Hydroptilidae. Fotografía de los autores.



Figura 7. Larva del orden Díptera, familia Chironomidae, subfamilia Tanypodinae. Fotografía de los autores.

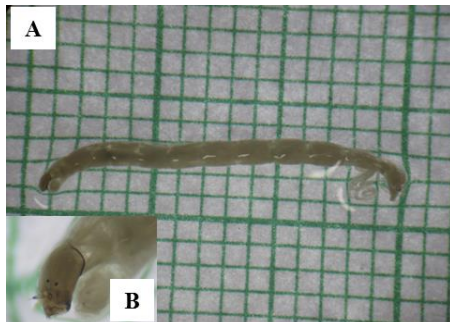


Figura 8. A. Larva. B. Cabeza de la larva. Orden Díptera, familia Chironomidae, subfamilia Chironominae. Fotografía de los autores.

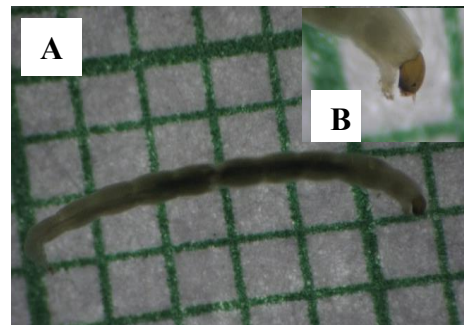


Figura 9. A. Larva. B. Cabeza de la larva. Orden Díptera, familia Chironomidae, subfamilia Orthoclaadiinae. Fotografía de los autores.



Figura 10. Larva del orden Díptera, familia Ceratopogonidae. Fotografía de los autores.



Figura 11. Larva del orden Coleóptera, familia Scirtidae. Fotografía de los autores.



Figura 12. Hidra de agua dulce, clase Hydrozoa, Orden Hydroida, familia Hydridae. Fotografía de los autores.



Figura 13. Planaria de agua dulce, clase Turbellaria, Orden Tricladia, Familia Dugesiidae. Fotografía de los autores.

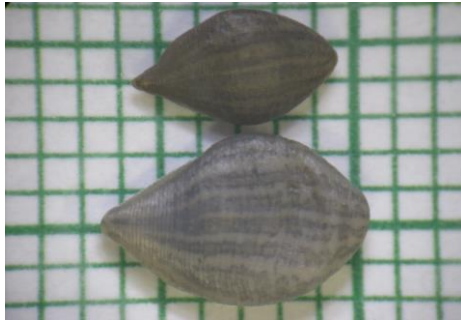


Figura 14. Sanguijuela. Clase Hyrudinea, Orden Rhynchobdellida, Familia Glossiphonidae. Fotografía de los autores.



Figura 15. Sanguijuela. Clase Hyrudinea, Orden Arhynchobdellida, Familia Erpobdellidae. Fotografía de los autores.



Figura 16. Bivalvo de agua dulce. Clase Bivalvia, Orden Unionida, Familia Hyriidae. Fotografía de los autores.

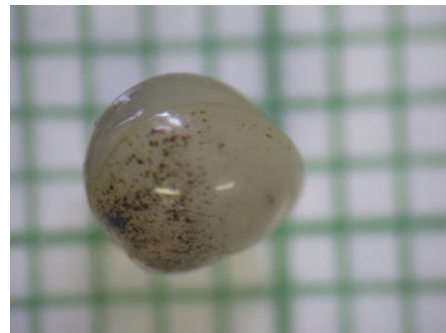


Figura 17. Bivalvo de agua dulce. Clase Bivalvia, Orden Veneroida, Familia Sphaeriidae. Fotografía de los autores.

De todos los macroinvertebrados encontrados en los diez sitios de muestreo a lo largo del Rio Teusacá, la Hidra (Figura 12) con valor de tolerancia cero solo se encontró el sitio del rio a 2972 metros en el cual la calidad de agua fue buena en las dos épocas de muestreo. Le siguió el Trichoptero Philopotamidae (Figura 5) con un valor de tolerancia de 2; en cual se encontró en las muestras de agua de sitios entre 2972 y 2892 metros con concentraciones de carbono orgánico total entre 6,5 y 7,1 mg/L y fosfatos entre 2,27 y 3,62 mg/L, a finales de la época seca; mientras que a finales de la época lluviosa solo se encontraron en muestras de agua de los sitios a 2972 y 2954 metros con concentraciones de carbono orgánico total entre 2,95 y 5,3 mg/L y fosfatos entre 3,71 y 4,11 mg/L. Dada la sensibilidad a la contaminación que presentan estos ejemplares se pueden considerar como buenos bioindicadores de buena calidad de agua. Le siguieron los ejemplares de la familia Tipulidae con un valor de tolerancia de 5 se encontró en las muestras de agua con valores de carbono orgánico total entre 2,95 y 10,04 mg/L y fosfatos entre 4,11 y 9,49 mg/L.

Las familias Baetidae (Figura 4), Hydroptilidae (Figura 6) y Dugesiidae (Figura 13) encontradas en el rio Teusacá presentan un rango de tolerancia a la contaminación amplio; dado que se

encontraron entre 2,95 y 19,49 mg/L de carbono orgánico total y entre 2,27 y 7,67 mg/L de fosfatos.

Los chironomidos (Figuras 7 al 9) de las tres subfamilias, los Ceratopogonidae (Figura 10) y los simulidos, mostraron un amplio rango de tolerancia a la contaminación; puesto que se encontraron entre 6,5 y 14,74 mg/L de carbono orgánico total y entre 2,27 y 10,87 mg/L de fosfatos.

Las sanguijuelas (Figuras 14 y 15) y los gamaridos empiezan a aparecer cuando las concentraciones de carbono orgánico total están por encima de 4,13 mg/L hasta 14,70 mg/L y entre 2,27 y 10,70 mg/L de fosfatos.

En los demás macroinvertebrados se observó amplio rango de distribución a lo largo del río siendo los más tolerantes a la contaminación las familias: Noctonectidae, Gyrinidae, Scirtidae, Physidae y Tubificidae.

5. CONCLUSIONES

La familia Hydridae, el Trichoptero de la familia Philopotamidae y el diptero de la Familia Tipulidae mostraron sensibilidad a la contaminación de carbono orgánico y fosfatos del agua del río Teusacá y se pueden considerar como buenos bioindicadores dado su corto rango de tolerancia a las concentraciones de contaminantes.

Las familias Baetidae, Hydroptilidae y Planariidae encontradas en el río Teusacá presentan tolerancia media a la contaminación; puesto que se encontraron a un rango medio de concentraciones de carbono orgánico y de fosfatos.

Las tres subfamilias de Chiromomidae y la familia Simuliidae, muestran un amplio rango de tolerancia a la contaminación; puesto que se encontraron en un rango amplio de concentraciones de carbono orgánico y de fosfatos.

Las familias Glossiphonidae, Erpobdellidae y Gammaridae presentan amplio rango de distribución y aparecen en concentraciones de carbono orgánico por encima de 4,13 mg/L y de fosfatos por encima de 2,27 mg/L.

Se hace evidente la relación entre la presencia y distribución de algunos taxa de macroinvertebrados con la calidad del agua y el análisis químico realizado en el laboratorio; lo cual sugiere la importancia que tiene la fauna béntica como bioindicadora en el Río Teusacá.

Los fosfatos y en la mayoría de los sitios el carbono orgánico total a lo largo del río presentaron valores muy por encima del valor permitido; sugiriendo que la contaminación del río sea por aguas residuales acumuladas en su recorrido.

6. AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Santo Tomás por la financiación del proyecto “Análisis de presencia y distribución de macroinvertebrados bentónicos, indicadores de calidad de agua en ambientes fluviales, Código SIGI 166803”.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Armitage, P.D., Moss D., Wright J.F., Furse M.T. (1983). The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Research* 17(3): 333–347.
- Bae, Y.J., Kil H.K., Bae K.S (2005). Benthic Macroinvertebrates for Uses in Stream Biomonitoring and Restoration. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 9(1), 55-63.
- Barbour, M.T., Gerritsen J., Snyder B.D. Stribling J.B. (1999). *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish*, Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C. Available in: <http://water.epa.gov/scitech/monitoring/rsl/bioassessment/index.cfm>
- Beck M.W., Hatch L.K. (2009). A review of research on the development of lake indices of biotic integrity. *Environ. Rev.* 17, 21–44.
- Bonada, N., Prat N., Resh, V.H., Statzner B. (2006). Developments in Aquatic Insect Biomonitoring: A Comparative Analysis of Recent Approaches. *Annu. Rev. Entomol.* 51: 495–523.
- Cortes, R.M.V., Hughes, S.J., Rodrigues, V., Varandas, S. (2013). Tools for bioindicator assessment in rivers: The importance of spatial scale, land use patterns and biotic integration. *Ecological Indicators* 34: 460 – 477.
- Dourojeanni, A., Louraviev, A., Chaves, G. 2002. *Gestión de agua a nivel de cuencas: teórica y práctica*. Serie 47, Recursos Naturales e Infraestructura. CEPAL. Santiago de Chile. 79 pp.
- Drake M.T., Valley R.D. (2005). Validation and application of a fish based index of biotic integrity for small central Minnesota lakes. *N. Am. J. Fish. Manag.* 25,1095-1111.

- Fierro, P., Bertrán, C., Mercado, M., Peña-Cortes F., Tapia, J., Hauenstein, E., Vargas-Chacoff, L. (2012). Benthic macroinvertebrate assemblages as indicators of water quality applying a modified biotic index in a spatio-seasonal context in a coastal basin of Southern Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 47 (1): 23-33.
- Figueroa, R., Valdovinos, C., Araya, E., Parra, O. (2003). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 76: 275-285.
- Hawkins, C.P., Olson J.R., Hill R.A. (2010). The reference condition: predicting bench marks for ecological and water quality assessments. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 29,312–343.
- Hilsenhoff, W.L. (1988). Rapid field assessment of organic pollution with a family level biotic index. *Journal of the North American Benthological Society.* 7(1): 65- 68.
- Hughes, R.M., Kaufmann, P.R., Herlihy, A.T., Kincaid, T.M., Reynolds, L., Larsen, D.P. (1998). A process for developing and evaluating indices of fish assemblage integrity. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55, 1618-1631.
- Jackson J.K., Fuereder L. (2006). Long-term studies of freshwater macroinvertebrates: a review of the frequency, duration and ecological significance. *Freshw. Biol.* 51, 591–603.
- Kennen, J.G., Sullivan D.J., May J.T., Bell A.H., Beaulieu K.M., Rice D.E. (2012). Temporal changes in aquatic invertebrate and fish assemblages in streams of the north central and northeastern US. *Ecol. Indic.* 18, 312-329.
- Kubosova, K., Brabec, K., Jarkovsky, J., Syrovatka, V. (2010). Selection of indicative taxa for river habitats: a case study on benthic macroinvertebrates using indicator species analysis and the random forest methods. *Hydrobiologia*, 651(1), 101–114.
- Lunde K.B., Resh V.H. (2012). Development and validation of a macroinvertebrate index of biotic integrity (IBI) for assessing urban impacts to Northern California freshwater wetlands. *Environ. Monit. Assess.* 184, 3653–3674.
- Magurran, A.E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Science Ltda. Malden, MA, USA. 257 pp.
- Mandaville, S. M. (2002). Benthic Macroinvertebrates in Freshwaters-Taxa Tolerance Values, Metrics, and Protocols. 128 pp. (Project H-1) Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax. Available: <http://www.chebucto.ns.ca/science/SWCS/H-1/tolerance.pdf>

- Moreno, C.E. (2001). *Métodos para medir la Biodiversidad*. Primera Edición. M&T-Manuales y Tesis SEA, Vol. 1. Zaragoza (España). 83 pp. Disponible en internet: <http://entomologia.rediris.es/sea/manytes/metodos.pdf>
- MPS-MAVDT. (2007). Resolución número 2115 del 22 de Junio de 2007. Ministerio de la Protección Social-Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá. 23 pp.
- Norris, R.H., Hawkins, C.P. (2000). Monitoring river health. *Hydrobiologia*, 435: 5-17.
- Oscoz, J., Galicia, D., Miranda, R. (2011). Clave dicotómica para la identificación de macroinvertebrados de la cuenca del Ebro. Edita Confederación Hidrográfica del Ebro. España.
- Pardo, I., Armitage, P.D. (1997). Species assemblages as descriptors of mesohabitats. *Hydrobiologia*, 344 (1), 111–128.
- Prat, N. Acosta, R., Villamarin, Ch., Rieradevall, M. (2012). Guía para el reconocimiento de las larvas de Chironomidae (Diptera) de los ríos altoandinos de Ecuador y Perú. Edita Proyecto de Investigación CERA, FUCORA y BIQUORA, Universidad de Barcelona, España.
- Prat, N., Ríos B., Acosta R., Rieradevall M. (2009). Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. Pgs 631-656. En: E. Domínguez & H. Fernández (eds.). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y Biología*. Fundación Miguel Lillo, Tucuman, Argentina.
- Ríos, B., Acosta, R. Prat, N. (2014). The Andean Biotic Index (ABI): revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation. *Rev. Bio. Trop.* 62(Supp 2): 249-273.
- Roldan-Pérez, G. (2012). Los macroinvertebrados como indicadores de la calidad de agua. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR. 148 pp.
- Roldan-Pérez, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 40(155): 254-274.
- Rosenberg, D. M., Resh, V. H. (1993). Introduction to freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. En *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Nueva York: Chapman and Hall.
- Schröder, M., Kieseld J., Schattmanna A., Jahnige S.C., Lorenza, A.W., Kramma, S., Keizer-Vlekc, H., Rolauffsa, P., Grafb, W., Leitnerb, P., Heringa, D. (2013). Substratum associations of benthic invertebrates in lowland and mountain streams. *Ecological Indicators*, 30,178-189.

- Sharma, S, Moog O. (1996). The applicability of biotic indices and scores in water quality assessment of Nepalese rivers. Proc. Ecohydrol. Conf. High Mount. Areas, Kathmandu, pp. 641–657. Kathmandu: ICIMOD.
- Stoddard J.L., Herlihy A.T., Peck D.V., Hughes R.M., Whittier T.R., Tarquinio E. (2008). A process for creating multimetric indices for large scale aquatic surveys. J. N. Am. Benthol. Soc. 27, 878-891.
- Urquhart, N.S., Paulsen S.G., Larsen D.P. (1998). Monitoring for policy relevant regional trends over time. Ecol. Appl. 8, 246–257.
- Weisberg S.B., Ranasinghe J.A., Dauer D.M., Schaffner L.C., Diaz R.J., Frithsen J.B. (1997). An estuarine benthic index of biotic integrity (B-IBI) for Chesapeake Bay. Est. Coast 20, 149–158.