

CAMBIOS EN LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS ASOCIADOS AL USO DE SUELO EN EL CANTÓN LA MANÁ, ECUADOR

CHANGES IN THE COMMUNITY OF AQUATIC MACROINVERTEBRATES ASSOCIATED TO LAND USE IN LA MANÁ MUNICIPALITY, ECUADOR

Norma Guerrero Chuez^{1,*} , Fernanda Bazurto Marcillo¹ , Kerly Manrique Piedra¹ 
Jonathan Pillasagua Cedeño¹

¹ Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador.

* Autor correspondencia: nguerrero@uteq.edu.ec

Resumen

En el cantón La Maná se observó una transformación intensiva del paisaje debido a cambios en el uso de suelo, reflejando una degradación de su calidad. Por lo tanto, es crucial evaluar la calidad hídrica mediante macroinvertebrados acuáticos en distintos usos de suelo (bosque, urbano y agrícola). El uso de suelo bosque presentó una calidad "ligeramente perturbado" y calidad de hábitat fluvial "moderada", a diferencia de los usos de suelo agrícola y urbano con "alteración fuerte" y "deficiente" respectivamente. Lo que muestra que la interacción del hombre produce cambios en los índices ecológicos, los resultados biológicos reflejaron un total de 807 individuos distribuidos en 9 órdenes, 28 familias y 50 géneros, de los cuales los órdenes: Hemiptera familia Naucoridae género *Limnocois* (104); Ephemeroptera familia Leptohiphidae género *Leptohiphes* (88), fueron los géneros más representativos en los tres usos de suelo. Se empleó el análisis de correspondencia canónica con los parámetros fisicoquímicos y biológicos para establecer la relación existente entre ellos, siendo las variables más representativas temperatura, oxígeno y sólidos disueltos totales. La aplicación del Índice BMWP-Cr demostró que los usos de suelo urbano y agrícola poseen una calidad de agua mala, mientras que, el uso de suelo bosque presenta una calidad de agua excelente con poca variabilidad en los meses de estudio.

Palabras claves: Recursos hídricos; índices ecológicos; bioindicadores.

Abstract

In the canton of La Maná there is an intensive transformation of the landscape that is due to changes in land use and reflects a degradation of its quality, thus the importance of evaluating water quality using aquatic macroinvertebrates in different land uses (forest, urban and agricultural), through the application of the River Habitat Index (IHF) and the Quality of Riparian Forest Index (QBR). The forest land use presented a "slightly disturbed" and "moderate" fluvial habitat quality, in contrast to the agricultural and urban land uses with "strong alteration" and "deficient" respectively. The biological results showed a total of 807 individuals distributed in 9 orders, 28 families and 50 genera, of which the orders: Hemiptera family Naucoridae genus *Limnocois* (104); Ephemeroptera family Leptohiphidae genus *Leptohiphes* (88), were the most representative genera in the three land uses. The analysis of canonical correspondence with physicochemical and biological parameters was used to establish the relationship between them, the most representative variables being temperature, oxygen, and total dissolved solids. The application of the BMWP-Cr Index showed that the urban and agricultural land uses have poor water quality, while the forest land use has excellent water quality with little variability during the study months.

Keywords: Water resources, ecological indices, bioindicators, water quality.

Recibido: 2023-11-28 **Aceptado:** 2023-12-26 **Publicado:** 2023-12-31

1. Introducción

La integridad de los recursos hídricos está fundamentalmente conectada con el uso de suelos; así la composición del agua de los ríos está significativamente influenciada por numerosas actividades naturales, antropogénicas, crecimiento de la población, y urbanización incesante; por tal razón, las alteraciones de este recurso han tenido un impacto evidente en la última década (Shehab et al., 2021). Los ecosistemas acuáticos ofrecen servicios ecológicos saludables para preservar el bienestar de la población y lograr un desarrollo sostenible (Hu et al., 2022). Sin embargo, se encuentran entre los sistemas altamente alterados del mundo y sufren una amplia gama de crisis ecológicas, como la destrucción del hábitat, el enriquecimiento de nutrientes y alteraciones hidrodinámicas, lo que da como resultado una pérdida irreversible de la biodiversidad, así como un mayor deterioro ambiental (Yao et al., 2022).

En América Latina la agricultura, ganadería, y los cambios en el uso del suelo urbano; a menudo, son los principales factores que degradan las condiciones naturales del agua (Fierro et al., 2017); debido a, actividades antropogénicas insostenibles que se han convertido en un factor clave de preocupación medioambiental (Ding et al., 2015); por tal motivo, aproximadamente el 92% de los estudios revisados por (Eriksen et al., 2021) informaron que el uso de macroinvertebrados, al menos en algunas de sus respuestas, fue exitoso en la detección de la degradación de la calidad ambiental en los ríos investigados.

Los ríos son particularmente los cuerpos de agua más vulnerables, ya que se ven fuertemente influenciados por el entorno que los rodea (Damanik-Ambarita et al., 2016); es por eso que, el Estado ecuatoriano ha adquirido un compromiso sobre el monitoreo de calidad del agua superficial en algunas localidades particulares del país (Sotomayor et al., 2020); por lo tanto, cada vez se utilizan más variables biológicas además de características físicas y

químicas dado que, los índices biológicos pueden representar las condiciones particulares el estado que posee un tramo de río durante un período de tiempo más largo que los datos químicos (Alvarez-Mieles et al., 2013).

Los impactos ocasionados por la actividad humana en los ecosistemas acuáticos, se basan en diferentes usos de suelo, degradan rápidamente su naturaleza; debido a la contaminación agroquímica, incremento de la carga orgánica y sedimentación (Meza et al., 2012), en este escenario los macroinvertebrados acuáticos juegan un papel importante en la calidad del agua; al presentan adaptaciones evolutivas a determinadas condiciones ambientales y tienen límites de tolerancia; es decir que, frente a una determinada alteración se encuentran organismos sensibles a la contaminación (Alba-tercedor, 1996).

El cantón La Mana posee ríos cuyas características hidromorfológicas sufren alteraciones; debido a que, se encuentran ubicados dentro de una zona de constante cambio de la cobertura vegetal, crecimiento urbanístico, sistemas agroproductivos y minería artesanal afectando la calidad del recurso hídrico, siendo el objetivo de este estudio evaluar la calidad hídrica del río San Pablo con la finalidad de conocer los efectos negativos de los usos de suelo (bosque, agrícola y urbano) y su influencia en la estructura de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos.

2. Materiales y Métodos

2.1 Área de estudio

El cantón La Maná está ubicado en las estribaciones de la cordillera occidental de los andes, en la provincia de Cotopaxi, a 150 km de la capital de la provincia de Latacunga, oscila entre una temperatura media de 23-25 °C. El estudio que se efectuó en el río San Pablo del cantón La Maná, Cotopaxi, Ecuador cuenta con una longitud de 79°12'48.4" W y latitud 0°56'25.3" S (Figura 1). La información de las comunidades de macroinvertebrados se obtuvo de

manera in situ por medio de la recolección de muestras con una frecuencia de cada 15 días durante la época lluviosa (enero a marzo), los puntos de muestreo se ubicaron en los usos de suelo: bosque, agrícola y urbano con la finalidad de establecer diferencias entre los géneros

encontrados. Los macroinvertebrados acuáticos se recolectaron utilizando una red de mano tipo D de 350 cm² y se preservaron en frascos de plásticos con alcohol al 70% debidamente rotulado.

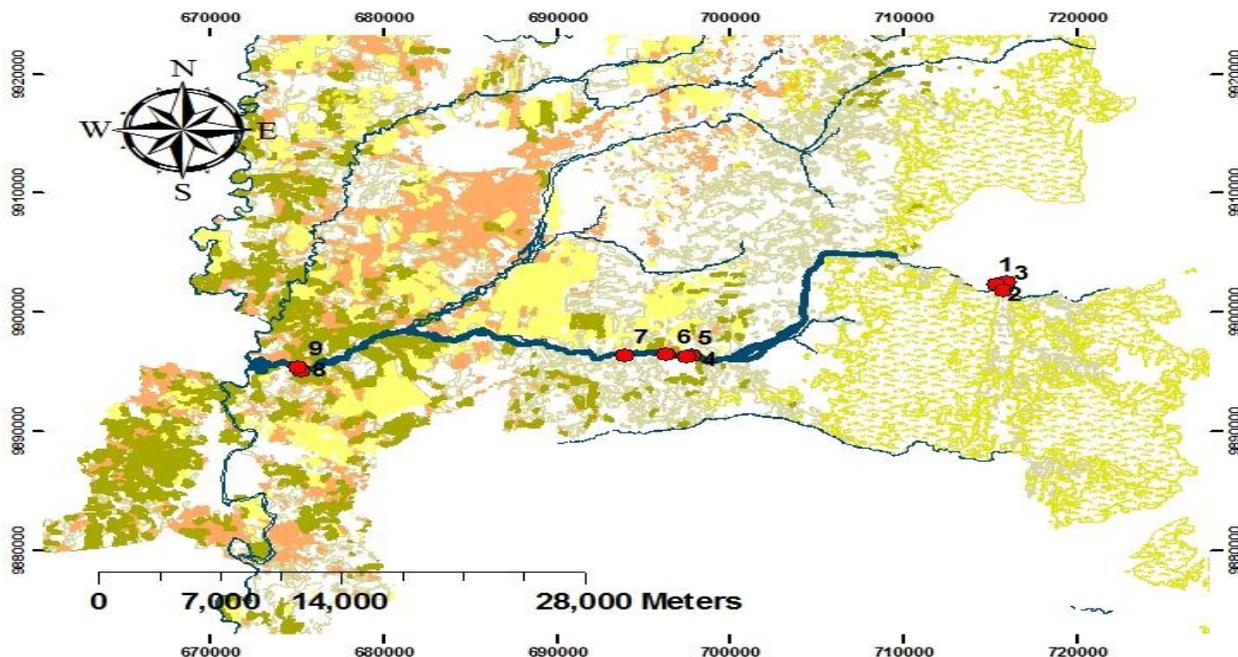


Figura 1. Localización de los puntos de muestreo.

La identificación taxonómica se realizó hasta el nivel de género, utilizando un estereoscopio y claves taxonómicas especializadas (Domínguez & Fernández, 2009), y procesadas en el laboratorio de Microbiología y Entomología de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

La determinación in situ de los parámetros físicos-químicos: sólidos disueltos totales "TDS" (ppm), conductividad eléctrica "EC" (uS/cm), temperatura (°C) se obtuvo mediante el equipo portátil "TDS & EC meter (hold)"; mientras que, el oxígeno disuelto "OD" (mg/l) se analizó con el medidor portátil "Oxímetro Milwaukee" finalmente, para el análisis del potencial de hidrógeno "pH" se utilizó equipo portátil pH Meter Pocket-Sized.

2.2 Análisis de datos

Una vez recolectado e identificado los macroinvertebrados acuáticos se aplicaron los índices de diversidad (Simpson, Shannon y Margalef) para la determinación de la estructura de las comunidades, en base a la metodología establecida por (Guerrero et al., 2016) (Tabla 1).

El índice del hábitat fluvial (IHF) permitió de manera rápida y eficaz evaluar la capacidad del río San Pablo para acoger a macroinvertebrados, en este sentido se valoró siete aspectos los cuales son: inclusión y limitación de sustrato, frecuencia de rápidos, composición del sustrato, régimen de velocidad/profundidad, sombra del cauce, elementos de heterogeneidad y cobertura de vegetación acuática (Palma et al., 2009). La

puntuación del índice fue >90 “muy buena”; 89-70 “buena”; 69-50 “moderada”; 49 -30 “deficiente”; 29-0 “mala” (Pardo et al., 2002).

Mientras que el Índice de calidad de bosque de ribera (QBR), se obtuvo con base a la selección del tramo del río, ancho y potencial de la vegetación ribereña considerando zonas propensas a inundaciones; posteriormente se

evaluó el índice de QBR (Acosta et al., 2014), distribuyendo los valores en cinco rangos de calidad: >95: estado natural, bosque de ribera sin alteraciones; 95-75: calidad buena, bosque ligeramente perturbado; 70-55: calidad aceptable, inicio de alteración importante; 30-50: calidad mala, alteración fuerte; <25: calidad pésima, degradación extrema (Palma et al., 2009).

Tabla 1. Fórmulas para aplicación de índices de diversidad.

Índices	Ecuación	Donde
Dominancia de Simpson	$\lambda = \sum \frac{P_i^2}{n}$	P_i = abundancia proporcional de la especie i .
Shannon-Weaver	$H' = -\sum \left(\frac{n_i}{N}\right) \ln\left(\frac{n_i}{N}\right)$	n_i = Número de individuos por especie en una muestra de una población. N = Número total de individuos en una muestra de una población. \ln = Logaritmo natural.
Índice de Margalef	$DMg = \frac{S - 1}{\ln(N)}$	S = Número de especies diferentes. N = Número total de individuos.

Fuente: (Guerrero et al., 2016)

Por otra parte, el Índice biótico BMWP-Cr se calculó sumando las puntuaciones asignadas a distintos géneros encontradas en las muestras de macroinvertebrados según su grado de sensibilidad a la contaminación, en este índice se

obtienen valores comprendidos entre 0 y un máximo que no suele superar 200. De acuerdo al puntaje se establecen seis niveles de calidad de agua (Guerrero et al., 2016) (Tabla 2).

Tabla 2. Nivel de calidad del agua en función del puntaje total obtenido en el Índice BMWP-Cr.

Nivel de calidad del agua	BMWP-CR	Color representativo
Excelente	>120	Azul
Buena, no contaminada alteradas de manera sensible	101-119	Azul
Regular, eutrofia, contaminación moderada	61-100	Verde
Mala, contaminada	36-60	Amarillo
Mala, muy contaminada	16-35	Naranja
Mala, muy contaminadas	<15	Rojo

Fuente: (Guerrero et al., 2016)

Para el análisis y los índices de diversidad de Shannon– Weaver, dominancia de Simpson y riqueza de Margalef se utilizó el paquete estadístico PAST (Hammer et al., 2001). Mientras que para comparar la similitud de los géneros de macroinvertebrados acuáticos entre los usos de suelo se usó un análisis de clúster con el método promedio aritmético por grupos de pares no ponderadas (UPGMA) con base al Índice de similitud de Bray Curtis (Morelli & Verdi, 2014). La relación entre las variables fisicoquímicas del agua del río San Pablo y la presencia /ausencia de los géneros de macroinvertebrados se determinó mediante un Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) (Ríos-Pulgarín et al., 2015).

3. Resultados

3.1. Composición y abundancia de macroinvertebrados acuáticos

Durante el estudio se recolecto un total de 807 individuos distribuidos en 9 órdenes, 28 familias y 50 géneros. Los géneros más abundantes en los tres usos de suelos corresponden a órdenes: Hemiptera familia Naucoridae género *Limnocris* (104); Ephemeroptera familia Leptohiphidae género *Leptohiphes* (88) (Tabla 3).

Tabla 3. Composición y abundancia de macroinvertebrados acuáticos en tres usos de suelo

COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA							
ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	USOS DE SUELO			TOTAL	%
			BOSQUE	URBANO	AGRÍCOLA		
TRICHOPTERA	Hydropsychidae	<i>Macronema</i>	0	1	0	284	31.45%
		<i>Leptonema</i>	23	19	27		
		<i>Simicridea</i>	0	6	1		
	Hydrobiosidae	<i>Atopsyche</i>	2	0	5		
	Polycentropodidae	<i>Polyplectropus</i>	0	1	3		
		<i>Polycentrepus</i>	4	0	3		
	philopotamidae	<i>Chimarra</i>	0	0	11		
COLEOPTERA	Elmidae	<i>Hintonelmis</i>	1	1	0	118	13.07%
		<i>Hexanchorus</i>	0	0	1		
		<i>Stethelmis</i>	0	4	0		
		<i>Macrelmis</i>	14	11	31		
	Hydrochidae	<i>Hydrochus</i>	1	0	0		
	Psephenidae	<i>Psephenus</i>	15	12	0		
EPHEMEROPTERA	Leptophlebiidae	<i>Cabecar</i>	1	0	1	386	42.75%
		<i>Lachlania</i>	20	0	0		
		<i>Terpides</i>	2	0	5		
		<i>Traverella</i>	1	4	1		
		<i>Thraulodes</i>	0	17	13		
	Baetidae	<i>Americabaetis</i>	2	6	18		
		<i>Camelobaetidius</i>	43	32	7		
	caenidae	<i>Caenis</i>	0	3	5		
	Leptohiphidae	<i>Asioplax</i>	0	3	0		
		<i>Leptohiphes</i>	26	53	9		

COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA							
ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	USOS DE SUELO			TOTAL	%
			BOSQUE	URBANO	AGRÍCOLA		
		<i>Tricorythodes</i>	0	1	0		
		<i>Vacupernius</i>	16	40	5		
PLECOPTERA	Perlidae	<i>Anacromeuria</i>	11	5	1	21	2.33%
HEMIPTERA	Belostomatidae	<i>Belostoma</i>	0	0	1	31	3.43%
	Gerridae	<i>Gueromorpha</i>	4	10	0		
	Naucoridae	<i>Macroptera</i>	7	3	3		
		<i>Braquiptero</i>	2	0	6		
		<i>Cryphocricos</i>	0	2	1		
		<i>Ctenipocoris</i>	0	2	0		
		<i>Ambrysus</i>	1	0	2		
		<i>Limnocoris</i>	55	42	7		
Veliidae	<i>Rhagovelia</i>	0	1	8			
ODONATA	Coenagrionidae	<i>Argia</i>	1	0	0	32	3.54%
		<i>Acanthagrion</i>	0	0	1		
	Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>	4	0	12		
	Gomphidae	<i>Aphylla</i>	0	0	3		
		<i>Epigomphus</i>	14	0	1		
	Lestidae	<i>Lestes</i>	0	0	5		
	Libellulinae	<i>Elasmothemis</i>	0	0	9		
		<i>Brechmorga</i>	11	3	7		
MEGALOPTERA	Corydalidae	<i>Platyneuromus</i>	1	0	0	1	0.11%
MOLLUSCA GASTROPODA	Hydrobiidae	<i>Heleobia</i>	0	0	4	25	2.77%
	Physidae	<i>Physa pomalia</i>	5	0	0		
	Ampullariidae	<i>Pomella</i>	0	0	5		
	Thiaridae	<i>Melanoides</i>	0	0	11		
MOLLUSCA BIVALVIA	Sphaeriidae	<i>Pisidium vile</i>	0	0	1	5	0.55%
	Carbiculidae	<i>Carbicula fluminea</i>	0	4	0		
TOTAL						903	100%

3.2. Distribución de géneros de macroinvertebrados por sustrato y hábitat

En cuanto a la distribución por sustrato y hábitat de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en el uso del suelo bosque y urbano predominó el género *Limnocoris*, perteneciente a la familia Naucoridae, se caracterizó por su presencia en hábitats de corriente rápida, con sustrato roca, arena. Mientras, que dentro de uso

de suelo agrícola predominó el género *Macrelmis*, perteneciente a la familia Elmidae, el cual se identificó en sustrato de vegetación con presencia en hábitat de corriente lenta (Tabla 4).

3.3. Análisis Clúster

El análisis de comunidades de macroinvertebrados acuáticos en diferentes coberturas de uso de suelo, empleó un enfoque de

conglomerados y composición de clúster para discernir patrones de similitud entre los hábitats estudiados. Los resultados revelan la formación de dos conglomerados principales que indican similitudes superiores al 35%. Es notable que las comunidades de macroinvertebrados en las zonas agrícolas y bosques presentan perfiles de géneros más afines, lo que refleja un mayor grado de similitud en la composición de sus biotas en comparación con las zonas urbanas.

En contraste, la cobertura urbana muestra una disimilitud marcada frente a los otros tipos de coberturas. Este fenómeno se puede atribuir a las modificaciones antropogénicas en las riberas urbanas, que limitan la biodiversidad de macroinvertebrados. Tales intervenciones incluyen la canalización de ríos, contaminación por aguas residuales y escorrentía de áreas urbanizadas, lo que resulta en hábitats acuáticos menos variados y más perturbados (Figura 2)

Tabla 4. Distribución de géneros de macroinvertebrados por sustrato y hábitat en tres usos de suelo.

ORDEN	FAMILIAS	GÉNERO	USO DE SUELO	SUSTRATO	HÁBITAT	TOTAL
TRICHOPTERA	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>				23
	Hydrobiosidae	<i>Atopsyche</i>		Roca y arena		2
	Polycentropodidae	<i>Polycentrepus</i>				4
COLEOPTERA	Elmidae	<i>Hintonelmis</i>		Vegetación y arena		1
		<i>Macrelmis</i>			14	
	Hydrochidae	<i>Hydrochus</i>				1
	Psephenidae	<i>Psephenus</i>		Vegetación		15
EPHEMEROPTERA		<i>Cabecar</i>				1
		<i>Lachlania</i>		Rocas y hojas	Corrientes	20
	Leptophlebiidae	<i>Terpides</i>		Vegetación y rocas	rápidas	2
		<i>Traverella</i>				1
	Baetidae	<i>Americabaetis</i>		Vegetación		2
		<i>Camelobaetidius</i>	Bosque			43
	Leptohiphidae	<i>Leptohyphes</i>			Rocas y vegetación	
<i>Vacupernius</i>						16
PLECOPTERA	Perlidae	<i>Anacromeuria</i>		Piedras		11
HEMIPTERA	Gerridae	<i>Gueromorpha</i>		Troncos	Corriente moderada	4
		<i>Macroptera</i>				7
	Naucoridae	<i>Braquiptero</i>		Rocas y arena		2
		<i>Ambrysus</i>				1
		<i>Limnocoris</i>			Corriente rápida	55
ODONATA	Coenagrionidae	<i>Argia</i>		Rocas y vegetación		1
	Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>				4

ORDEN	FAMILIAS	GÉNERO	USO DE SUELO	SUSTRATO	HÁBITAT	TOTAL
	Gomphidae	<i>Epigomphus</i>		Arena y		14
	Libellulinae	<i>Brechmorga</i>		vegetación		11
MEGALOPTERA	Corydalidae	<i>Platyneuromus</i>		Troncos y arena		1
MOLLUSCA GASTROPODA	Physidae	<i>Physa pomalia</i>		Rocas	Corriente moderada	5
		<i>Macronema</i>		Roca	Corriente	1
TRICHOPTERA	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>		Roca y arena	rápida	19
		<i>Simicridea</i>		Roca y		6
	Polycentropodidae	<i>Polyplectropus</i>		vegetación		1
		<i>Hintonelmis</i>			Corriente moderada	1
COLEOPTERA	Elmidae	<i>Stethelmis</i>		Arena y		4
		<i>Macrelmis</i>		vegetación		11
	Psephenidae	<i>Psephenus</i>			Corriente	12
		<i>Traverella</i>		Vegetación	rápida	4
	Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i>		Roca y	Corriente moderada	17
		<i>Americabaetis</i>		vegetación		6
	Baetidae	<i>Camelobaetidius</i>		Vegetación	Corriente	32
EPHEMEROPTERA	Caenidae	<i>Caenis</i>		Roca y	rápida	3
		<i>Asioplax</i>	Urbano	Arena y roca	Corriente moderada	3
	Leptohyphidae	<i>Leptohyphes</i>		Roca y		53
		<i>Tricorythodes</i>		vegetación	Corriente	1
		<i>Vacupernius</i>		Vegetación	rápida	40
PLECOPTERA	Perlidae	<i>Anacromeuria</i>		Roca y		4
				vegetación		5
	Gerridae	<i>Gueromorpha</i>				10
		<i>Macroptera</i>		Vegetación	Corriente	3
HEMIPTERA	Naucoridae	<i>Cryphocricos</i>		Roca y	moderada	2
		<i>Ctenipocoris</i>		vegetación		2
		<i>Limnocoris</i>		Roca y arena		42
	Veliidae	<i>Rhagovelia</i>			Corriente rápida	1
ODONATA	Libellulinae	<i>Brechmorga</i>				3
				Roca		3
MOLLUSCA BIVALVIA	Carbiculidae	<i>Carbicula fluminia</i>			Corriente moderada	4

ORDEN	FAMILIAS	GÉNERO	USO DE SUELO	SUSTRATO	HÁBITAT	TOTAL	
TRICHOPTERA	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>				27	
		<i>Simicridea</i>		Roca y arena		1	
	Hydrobiosidae	<i>Atopsyche</i>			Corriente lenta	5	
	Polycentropodidae	<i>Polyplectropus</i>				3	
		<i>Polycentrepus</i>			Arena y vegetación		3
Philopotamidae	<i>Chimarra</i>				Corriente moderada	11	
COLEOPTERA	Elmidae	<i>Hexanchorus</i>				1	
		<i>Macrelmis</i>		Vegetación	Corriente lenta	31	
EPHEMEROPTERA	Leptophlebiidae	<i>Cabecar</i>				1	
		<i>Terpides</i>			Corriente moderada	5	
		<i>Traverella</i>		Arena y vegetación		1	
		<i>Thraulodes</i>				13	
	Baetidae	<i>Americabaetis</i>			Vegetación		18
		<i>Camelobaetidius</i>			Roca y vegetación	Corriente lentas	7
	Caenidae	<i>Caenis</i>				5	
	Leptohiphidae	<i>Leptohiphes</i>			Vegetación	Corriente moderada	9
		<i>Vacupernius</i>		Agrícola	Roca y vegetación	Corriente lenta	5
		<i>Anacromeuria</i>				Corriente moderada	1
PLECOPTERA	Perlidae	<i>Anacromeuria</i>				1	
HEMIPTERA	Belostomatidae	<i>Belostoma</i>				1	
		<i>Macroptera</i>				3	
	Naucoridae	<i>Braquiptero</i>				6	
		<i>Cryphocricos</i>			Arena y vegetación	Corriente lenta	1
		<i>Ambrysus</i>				2	
	<i>Limnocoris</i>				7		
Veliidae	<i>Rhagovelia</i>				Corriente moderada	8	
ODONATA	Coenagrionidae	<i>Acanthagrion</i>			Vegetación	Corriente lenta	1
	Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>				Corriente moderada	12
	Gomphidae	<i>Aphylla</i>			Arena y vegetación		3
		<i>Epigomphus</i>			Arena		1
	Lestidae	<i>Lestes</i>				Corriente moderada	5
	Libellulinae	<i>Elasmothermis</i>			Vegetación		9
		<i>Brechmorga</i>			Arena		7

ORDEN	FAMILIAS	GÉNERO	USO DE SUELO	SUSTRATO	HÁBITAT	TOTAL
MOLLUSCA	Hydrobiidae	<i>Heleobia</i>		Roca y vegetación		4
GASTROPODA	Ampullariidae	<i>Pomella</i>				5
	Thiaridae	<i>Melanoides</i>				11
MOLLUSCA BIVALVIA	Sphaeriidae	<i>Pisidium vile</i>		Roca	Corriente lenta	1

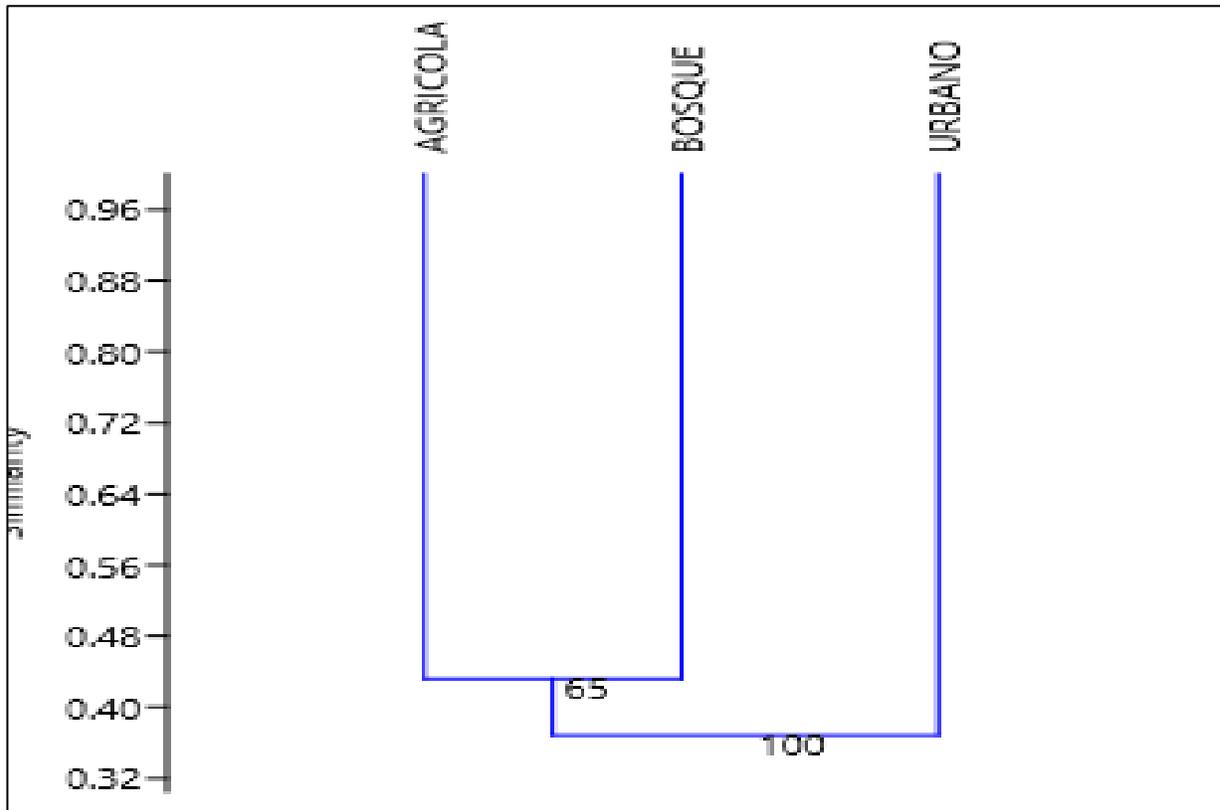


Figura 2. Dendrograma de similitud entre los diferentes usos de suelo.

3.4. Evaluación de las variables de calidad ecológica

Con relación a los resultados de los índices de diversidad aplicados en los diferentes usos de suelo, se identificó que el uso de suelo agrícola posee el mayor número de géneros (22), no obstante, el uso de suelo (bosque) muestra el mayor número de individuos (287); respecto, al índice de Simpson (1-D), muestra promedios más altos en el uso de suelo bosque (7.342); mientras que, valores bajos en el uso de suelo agrícola

(4.626). Algo similar refleja el índice de Shannon (H) reflejando mayor biodiversidad en el uso de suelo bosque (17.653), mientras que el uso de suelo agrícola (15.600) muestra menos diversidad de especies. Por su parte el índice de Margalef demostró que el uso de suelo bosque alcanzó una riqueza moderada con valores de (20.627), al contrario del uso de suelo urbano con un valor de (18.168) (Tabla 5).

El resultado del índice de hábitat fluvial "IHF" determinó que el área de bosque presentó una calidad aceptable (59), sin embargo, la zona urbana y agrícola presentaron una calidad deficiente 44 y 33 respectivamente; no obstante, la zona agrícola mostró una alteración más significativa. Por otra parte, los valores obtenidos mediante la aplicación del índice de calidad de bosque de ribera "QBR" en la cuenca del río San Pablo oscilaron entre 32 y 92, indicando que la zona agrícola cuenta con una alteración fuerte o de mala calidad con valores (30-50). La misma situación se presenta en la zona urbana, mientras

que la zona de bosque cuenta con una calidad de bosque de ribera buena (91).

Por otro lado, el índice BMWP-Cr indicó que la zona de bosque posee una calidad de agua excelente en la época lluviosa, con valores superiores a 120, seguido por la zona urbana con una calidad de agua buena con presencia de alteración leve (103), mientras que, el uso de suelo agrícola mostró un valor de (99) lo que indica una calidad de agua regular, contaminación moderada (Tabla 5).

Tabla 5. Valores de los índices aplicados en tres usos de suelo.

	Bosque	Urbano	Agrícola
Familias	18	14	22
Individuo	287	286	234
Dominancia de Simpson (1-D)	7.3429	7.0772	4.6261
Índice de Shannon (H)	17.653	16.256	15.6001
Riqueza de Margalef	20.627	18.168	19.292
Índice IHF	59	44	33
Índice QBR	91	48	32
Índice BMWP-Cr	120	103	99

3.5 Parámetros fisicoquímicos

El análisis de correspondencia canónica (Fig. 3) señaló que los géneros *Limnocoli*, *Psephenus*, *Thraulodes*, *Asioplax*, *Leptohyphes*, *Brechmorga* y *Anacroneuria*, tuvieron mayor presencia en relación a los parámetros fisicoquímicos pH y oxígeno disuelto. Algo similar mostraron, los niveles altos de sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica asociados a la presencia

de los géneros: *Leptonema*, *Terpides*, *Camelobaetidius*, *Epigomphus*. Mientras que los géneros *Hexachorus*, *Belostoma*, *Elasmothermis* y *Melanoides* mostraron estar relacionados a hábitats de temperaturas cálidas (23.4 °C), al contrario de los géneros *Argia*, *Hydrochus* y *Platyneuromus* que predominan en zonas con temperaturas más bajas.

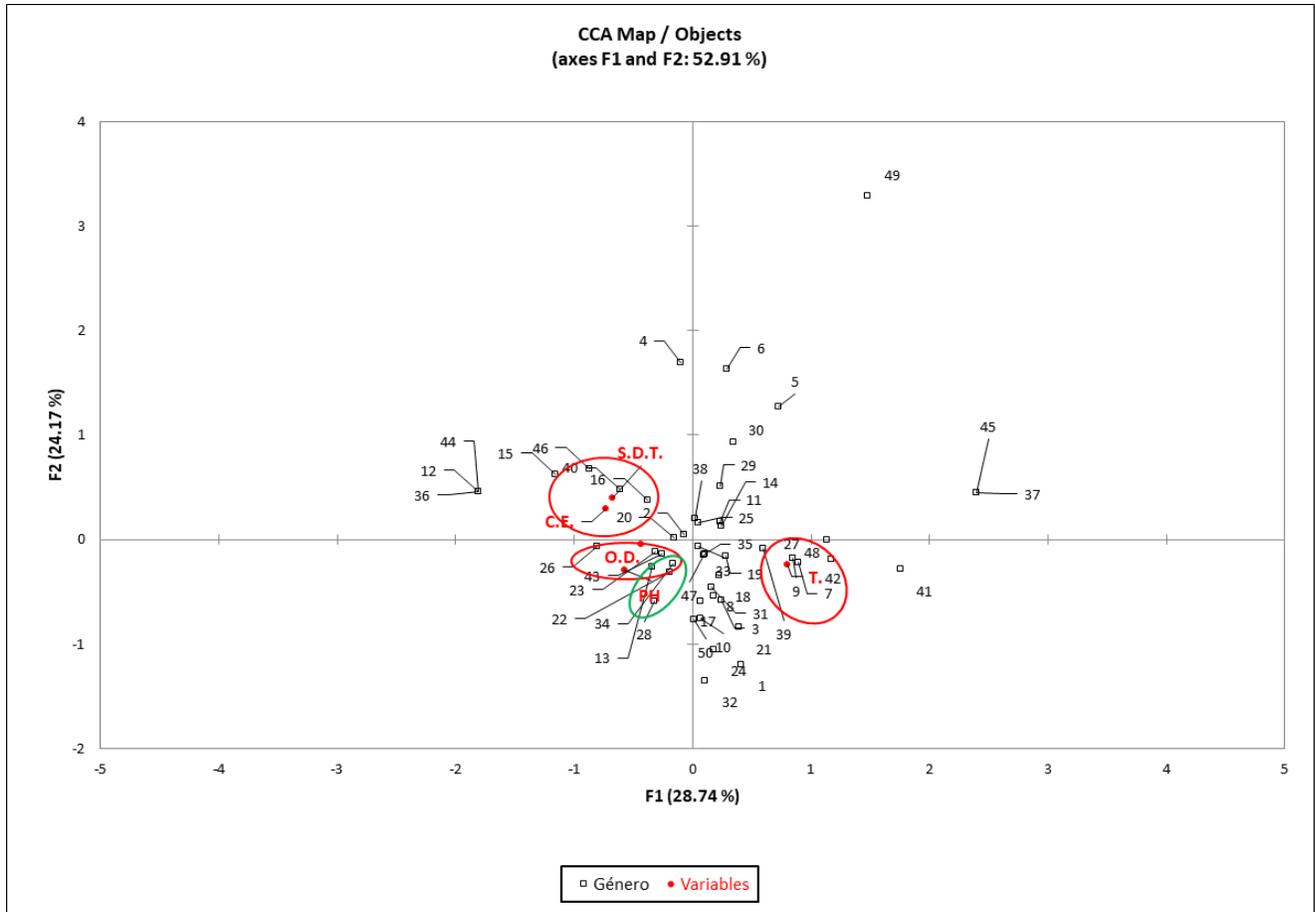


Figura 3. Análisis de correspondencia canónica en los usos de suelo.

4. Discusión

El género *Limnocoris* registró una mayor abundancia de macroinvertebrados en el uso de suelo bosque, estos resultados concuerdan con lo reportado por Nuñez & Fragoso (2019) en un estudio realizado en la ciénaga Mata de Palma (Colombia) los cuales indicaron que el género *Limnocoris* perteneciente al orden Hemiptera está entre los insectos de mayor riqueza. Algo similar se presentó con el género *Leptohyphes* en uso de suelo bosque, según Roldán (2016), en un estudio de bioindicadores de calidad del agua en Colombia y Latinoamérica mostró que este género resulta muy sensible a la contaminación. Mientras que Gualdoni & Oberto (2012), en una investigación realizada en el arroyo Achiras mencionan que el género *Leptohyphes* mostro mayor abundancia.

Por otro lado, el uso de suelo bosque tuvo los valores más altos en los índices de diversidad aplicados; algo similar destacan Guerrero et al., (2020), en una investigación realizada en la cuenca alta del río Quevedo, el índice de Shannon alcanzó una mayor diversidad en el uso de suelo bosque mientras que los demás usos del suelo estudiados no mostraron diferencias significativas en dominancia y equitatividad. Adicionalmente el uso de suelo bosque presento una calidad de agua excelente; mientras que el uso de suelo agrícola evidencio una calidad del agua mala con presencia de contaminación. Esto concuerda con lo reportado por Guerrero et al., (2016) en un estudio realizado en la microcuenca “El Sapanal” indicando que el uso de suelo bosque mostro aguas de calidad excelente, a diferencia del uso de suelo agrícola y pastizal con aguas de calidad regular.

En cuanto a la variabilidad de macroinvertebrados acuáticos el análisis de clúster demostró similitudes superiores al 35% entre la zona agrícola y bosque a diferencia del uso de suelo urbano. Este resultado difiere a lo señalado por Guerrero et al., (2022), afirman en un estudio realizado en el estero el barro de la microcuenca baja del río Quevedo mostrando un grupo bien diferenciado por encima del 70% conformado por bosque, agrícola, urbano y pastizal. En una investigación sobre uso de suelo y su influencia en la calidad del agua de la microcuenca realizada por Guerrero et al., (2016) sostienen que las diferencias en los resultados obtenidos entre los usos de suelo se deben posiblemente por condiciones ambientales y a su influencia en la vegetación ribereña de cada sitio durante los meses de muestreo.

La relación directa de los parámetros fisicoquímicos pH y oxígeno disuelto con algunos géneros de macroinvertebrados acuáticos resistentes a la moderada contaminación del agua (*Limnocois*, *Psephenus*, *Thraulodes*), concuerda con García et al., (2016) en una investigación realizada en la costa Oriental del lago de Maracaibo en Venezuela, expresando que el oxígeno disuelto y el pH son las variables más importantes relacionadas con el ordenamiento de la estructura de macroinvertebrados, de las cuales las familias correspondiente al orden Ephemeroptera se relacionaron principalmente con el oxígeno disuelto, mientras que los órdenes Coleóptera y Hemíptera están relacionados con el pH. Mientras que, el estudio realizado por (Morelli & Verdi, 2014) en cursos de agua dulce con vegetación ribereña nativa de Uruguay sugieren que las variables conductividad, pH y temperatura tienen influencia directa en la distribución y composición de los macroinvertebrados acuáticos.

5. Conclusiones

La investigación realizada determinó que el uso de suelo bosque influyó en una mayor diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos encontrados en las zonas de estudio. Por otro lado,

la mayor presencia de los géneros *Limnocois*, *Psephenus*, *Thraulodes*, *Asioplax*, *Leptohyphes*, *Brechmorga* y *Anacroneuria* estuvo relacionada con las variables fisicoquímicas pH y oxígeno disuelto además de microhábitat como: hojas, troncos, y raíces expuestas. Mientras que los géneros *Hexachorus*, *Belostoma*, *Elasmothermis* y *Melanoides* estuvieron relacionados a los hábitats con temperaturas cálidas. En cuanto a la evaluación de los índices QBR y IHF el uso de suelo bosque obtuvo resultados favorables “ligeramente perturbado” a diferencia del uso de suelo agrícola los cuales reflejaron una “alteración fuerte”. Esto indica que las interacciones humanas producen cambios en las comunidades de macroinvertebrados acuáticos. La información generada permitirá establecer estrategias para la restauración de ecosistemas acuáticos y el mejoramiento de la calidad del agua.

6. Referencias

- Acosta R., Hampel H., González H., Mosquera P., S., & G., y G. X. (2014). Protocolo de evaluación de la integridad ecológica de los ríos de la región austral del Ecuador. <https://library.co/document/y6e36k74-protocolo-evaluación-integridad-ecológica-ríos-región-austral-ecuador.html>
- Alba-tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos a la calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio Del Agua En Andalucía (SIAGA) ALmeria, II, 203–213. <https://cidta.usal.es/calidad/documentos/blanco2/indice BMWP.pdf>
- Alvarez-Mieles, G., Irvine, K., Griensven, A. V., Arias-Hidalgo, M., Torres, A., & Mynett, A. E. (2013). Relationships between aquatic biotic communities and water quality in a tropical river-wetland system (Ecuador). *Environmental Science and Policy*, 34, 115–127. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.01.011>
- Chuez, N. M. G., Ponce, M. A. D., Zambrano, J. P. U., Cajas, C. T., Verónica, R., Chuez, G., Joel, Á., & Tsáchilas, S. D. D. L. (2017). Uso de suelo y su influencia en la calidad del agua

- de la microcuenca El Sapanal, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*, 5(2), 1–11.
- Damanik-Ambarita, M. N., Lock, K., Boets, P., Everaert, G., Nguyen, T. H. T., Forio, M. A. E., Musonge, P. L. S., Suhareva, N., Bennetsen, E., Landuyt, D., Dominguez-Granda, L., & Goethals, P. L. M. (2016). Ecological water quality analysis of the Guayas river basin (Ecuador) based on macroinvertebrates indices. *Limnologia*, 57, 27–59.
<https://doi.org/10.1016/j.limno.2016.01.001>
- Ding, J., Jiang, Y., Fu, L., Liu, Q., Peng, Q., & Kang, M. (2015). Impacts of land use on surface water quality in a subtropical river basin: A case study of the dongjiang river basin, Southeastern China. *Water (Switzerland)*, 7(8), 4427–4445.
<https://doi.org/10.3390/w7084427>
- Dominguez, E., & Fernández, H. R. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. *Sistemática y biología (Fundación)*.
- Eriksen, T. E., Brittain, J. E., Søli, G., Jacobsen, D., Goethals, P., & Friberg, N. (2021). A global perspective on the application of riverine macroinvertebrates as biological indicators in Africa, South-Central America, Mexico and Southern Asia. *Ecological Indicators*, 126, 107609.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107609>
- Fierro, P., Bertrán, C., Tapia, J., Hauenstein, E., Peña-Cortés, F., Vergara, C., Cerna, C., & Vargas-Chacoff, L. (2017). Effects of local land-use on riparian vegetation, water quality, and the functional organization of macroinvertebrate assemblages. *Science of the Total Environment*, 609, 724–734.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.197>
- García, E., Barrios, M., Rodr, D., & Marrero, C. (2016). Integración de escalas, gradientes ambientales e índices en la evaluación del estado de conservación de los ríos en la costa oriental del lago de Maracaibo, Venezuela. *Interciencia*, 41(5), 305–311.
- Gualdoni, C. M., & Oberto, A. M. (2012). Estructura de la comunidad de macroinvertebrados del arroyo Achiras (Córdoba, Argentina): Análisis previo a la construcción de una presa. *Iheringia - Serie Zoologia*, 102(2), 177–186.
<https://doi.org/10.1590/S0073-47212012000200010>
- Guerrero Chuez, N. M., Urdánigo Zambrano, J. P., Nieto Cañarte, C. A., & Toro Rincón, A. (2020). Estructura de macroinvertebrados acuáticos y su relación con usos de suelo en la cuenca alta del río Quevedo. *Revista Ingeniería e Innovación*, 9(2), 67–81.
<https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/r ii/article/view/2427/3093>
- Guerrero, N., Díaz Ponce, M., Urdanigo Zambrano, J., Tayhing Cajas, C., Guerrero Chuez, R., & Yepez Rosado, Á. (2016). Uso de suelo y su influencia en la calidad del agua de la microcuenca El Sapanal, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*, 4(3), 7.
<http://www.rccb.uh.cu/index.php/RCCB/articloe/view/156/265>
- Guerrero, N., Nieto, C., Macias, D., & Urdanigo, J. P. (2022). Relación entre los usos de suelo y la diversidad de macroinvertebrados acuáticos en el estero el Barro de la microcuenca baja del río Quevedo Relación entre los usos de suelo y la diversidad de macroinvertebrados acuáticos en el estero el Barro de la micr. *CentroSur*, 1–13.
- Hammer, Ø., Harper, D. A. ., & D, R. P. (2001). Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 1–9.
- Hu, X., Zuo, D., Xu, Z., Huang, Z., Liu, B., Han, Y., & Bi, Y. (2022). Response of macroinvertebrate community to water quality factors and aquatic ecosystem health assessment in a typical river in Beijing, China. *Environmental Research*, 212, 113474.
<https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2022.113474>
- Meza, M., Rubio, J., Días, A., & Walteros, L. (2012). Water quality and composition of aquatic macroinvertebrates in the

- subwatershed of river Chinchiná. *Caldasia*, 34(2), 443–456. <http://www.icn.unal.edu.co/>
- Morelli, E., & Verdi, A. (2014). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en cursos de agua dulce con vegetación ribereña nativa de Uruguay Aquatic macroinvertebrate diversity in freshwater streams with native riparian vegetation of. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(4), 1160–1170. <https://doi.org/10.7550/rmb.45419>
- Núñez, J. C., & Fragoso-Castilla, P. J. (2019). Use of aquatic macroinvertebrates as bioindicators of water pollution in the Mata de Palma swamp (Colombia). *Informacion Tecnologica*, 30(5), 319–330. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000500319>
- Palma, A., Figueroa, R., & Ruiz, V. H. (2009). Evaluacion de ribera y habitat fluvial a traves de los indices QBR e IHF. *Gayana*, 73(1), 57–63. <https://doi.org/10.4067/s0717-65382009000100009>
- Pardo, I., Álvarez, M., Casas, J., Moreno, J. L., Vivas, S., Bonada, N., Alba-Tercedor, J., Jáimez-Cuéllar, P., Moyà, G., Prat, N., Robles, S., Suárez, M. L., Toro, M., & Vidal-Abarca, M. R. (2002). El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat. *Limnetica*, 21(3–4), 115–133. <https://doi.org/10.23818/limn.21.21>
- Ríos-Pulgarín, M. I., Barletta, M., & Mancera-Rodríguez, N. J. (2015). The role of the hydrological cycle on the distribution patterns of fish assemblages in an Andean stream. *Journal of Fish Biology*, 89(1), 1–29. <https://doi.org/10.1111/jfb.12757>
- Roldán-Pérez, G. (2016). Macroinvertebrates as bioindicators of water quality: Four decades of development in Colombia and Latin America. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(155), 254–274. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.335>
- Shehab, Z. N., Jamil, N. R., Aris, A. Z., & Shafie, N. S. (2021). Spatial variation impact of landscape patterns and land use on water quality across an urbanized watershed in Bentong, Malaysia. *Ecological Indicators*, 122, 107254. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107254>
- Sotomayor, G., Hampel, H., Vázquez, R. F., & Goethals, P. L. M. (2020). Multivariate-statistics based selection of a benthic macroinvertebrate index for assessing water quality in the Paute River basin (Ecuador). *Ecological Indicators*, 111, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.106037>
- Weirauch, C., & Schuh, R. T. (2011). Systematics and evolution of heteroptera: 25 years of progress. *Annual Review of Entomology*, 56, 487–510. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120709-144833>
- Yao, K.-S., He, Y.-J., Van den Brink, P. J., Dai, Y.-N., Yang, Y., & Cui, Y.-D. (2022). Multivariate approaches to assess the drivers of benthic macroinvertebrate communities and biotic indices in a highly urbanized fluvial-estuarine system. *Ecological Indicators*, 139, 108956. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2022.108956>