

DOI: <https://doi.org/10.18359/rfcb.5432>



# Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en dos ecosistemas lóticos en El Doncello, Caquetá\*

Lalo Rodrigo Bravo Chaves<sup>a</sup> ■ Gloria María Restrepo Franco<sup>b</sup>

**Resumen:** estudiar macroinvertebrados acuáticos es útil para la estimación de la integridad de un ecosistema, debido a su capacidad de reflejar el efecto de una gran variedad de contaminantes. La investigación se realizó para evaluar la diversidad de macroinvertebrados acuáticos, presentes en dos ecosistemas lóticos del municipio de El Doncello, Caquetá, entre agosto de 2019 y marzo de 2020, comprendiendo periodos de aguas altas, transición y aguas bajas. Se establecieron tres estaciones de muestreo en el río Doncello y la quebrada Anayá del mismo municipio. Las colectas se realizaron con una red tipo D, empleando el método de muestreo intensivo en los diferentes microhábitats encontrados. La información se analizó con los paquetes estadísticos PAST y EstimateS para índices de diversidad y representatividad del muestreo, respectivamente. Se identificaron 95 géneros, 56 familias y 15 órdenes. Chironomidae (Diptera) fue la familia más abundante, seguida por Philopotamidae (Trichoptera) y Leptophlebiidae (Ephemeroptera). Los índices bióticos de calidad BMWP, ASPT y EPT permitieron evidenciar la influencia de la contaminación por residuos orgánicos de origen doméstico y la capacidad de autodepuración del agua de la quebrada Anayá. La comunidad de macroinvertebrados reportados responde a las perturbaciones antrópicas en los ecosistemas estudiados; las estaciones menos intervenidas presentaron la mayor riqueza, mientras que las más afectadas presentaron baja diversidad y alta dominancia.

**Palabras clave:** abundancia; bioindicación; calidad de aguas; diversidad; macroinvertebrados acuáticos

**Recibido:** 13 de noviembre de 2020

**Aceptado:** 19 de enero de 2021

**Disponible en línea:** 19 de noviembre de 2021

**Cómo citar:** L. R. Bravo Chaves y G. M. Restrepo Franco, «Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en dos ecosistemas lóticos en El Doncello, Caquetá», Rev. Fac. Cienc. Básicas, vol. 17, n.º 1, pp. 57-72, nov. 2021.

\* Artículo de investigación.

- a Biólogo. Universidad de Manizales. Centro de Investigación en Medio Ambiente y Desarrollo –Cimad. Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas. Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Manizales, Colombia.  
Correo electrónico: la.bravo11@hotmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0344-7839>
- b Bacterióloga. Especialista en Microbiología. Doctora en Ciencias Agrarias. Grupo de Investigación Centro de Investigaciones en Medio Ambiente y Desarrollo –Cimad, Universidad de Manizales, Manizales, Colombia.  
Correo electrónico: grestrepo@umanizales.edu.co ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0443-0369>

## *Diversity of Aquatic Macroinvertebrates in Two Lotic Ecosystems in El Doncello, Caquetá*

**Abstract:** studying aquatic macroinvertebrates is useful for estimating the integrity of an ecosystem, due to their ability to reflect the effect of a wide variety of pollutants. The research was conducted to evaluate the diversity of aquatic macroinvertebrates present in two lotic ecosystems of the municipality of El Doncello, Caquetá, between August 2019 and March 2020, comprising high water, transition, and low water periods. Three sampling stations were established in the Doncello river and the Anayá stream of the same municipality. Collections were made with a D-type net using the intensive sampling method in the different microhabitats. The information was analyzed with the PAST statistical packages and EstimateS for diversity indexes and sampling representativeness, respectively. A total of 95 genera, 56 families and 15 orders were identified. Chironomidae (Diptera) was the most abundant family, followed by Philopotamidae (Trichoptera) and Leptophlebiidae (Ephemeroptera). Biotic quality indexes BMWP, ASPT and EPT made evident the influence of pollution by organic domestic waste and the self-purification capacity of water in the Anayá stream. The macroinvertebrate community reported responses to the anthropic disturbances in the ecosystems studied; the least intervened stations showed the highest richness, while the most affected stations showed low diversity and high dominance.

**Keywords:** abundance; bioindication; water quality; diversity; aquatic macroinvertebrates

## *Diversidade de macroinvertebrados aquáticos em dois ecossistemas lóticos em El Doncello, Caquetá, Colômbia*

**Resumo:** estudar macroinvertebrados aquáticos é útil para estimar a integridade de um ecossistema, devido à sua capacidade de refletir o efeito de uma grande variedade de contaminantes. Esta pesquisa foi realizada para avaliar a diversidade de macroinvertebrados aquáticos, presentes em dois ecossistemas lóticos do município de El Doncello, Caquetá, entre agosto de 2019 e março de 2020, compreendendo período de águas altas, transição e águas baixas. Foram estabelecidas três estações de amostra no rio Doncello e no riacho Anayá do mesmo município. As coletas foram realizadas com uma rede tipo D, utilizando o método de amostragem intensiva nos diferentes microhabitats encontrados. As informações foram analisadas com os pacotes estatísticos PAST e EstimateS para índices de diversidade e representatividade da amostra, respectivamente. Foram identificados 95 gêneros, 56 famílias e 15 ordens. Chironomidae (Diptera) foi a família mais abundante, seguida por Philopotamidae (Trichoptera) e Leptophlebiidae (Ephemeroptera). Os índices bióticos de qualidade BMWP, ASPT e EPT permitiram evidenciar a influência da contaminação por resíduos orgânicos de origem doméstica e a capacidade de autodepuração da água do riacho Anayá. A comunidade de macroinvertebrados relatados responde às perturbações antrópicas nos ecossistemas estudados; as estações com menos intervenção apresentaram maior riqueza, enquanto as mais afetadas apresentaram baixa diversidade e alta dominância.

**Palavras-chave:** abundância; bioindicação; qualidade de águas; diversidade; macroinvertebrados aquáticos

## Introducción

Los macroinvertebrados acuáticos son organismos que pueden encontrarse adheridos en sustratos del lecho como hojarasca, piedras, troncos y arena, en ecosistemas lénticos, lóticos, artificiales y naturales. Están conformados, principalmente, por insectos, platelmintos, moluscos y crustáceos [1]. Estos organismos, visibles a simple vista, tienen la capacidad de reflejar el estado ecológico de los ecosistemas acuáticos, dado que presentan adaptaciones a diferentes tipos de agua; algunos son muy sensibles a la presencia de contaminantes, por lo que se consideran indicadores de agua de buena calidad. Otros presentan alta tolerancia a la contaminación e, incluso, requieren la presencia de grandes cantidades de materia orgánica en el ecosistema, por lo que constituyen indicadores, a su vez, de agua de mala calidad [2].

Tanto la estructura como la composición de tales organismos dependen de fenómenos físicos, químicos y biológicos de escalas espaciales y temporales complejas, que responden a variables naturales y antrópicas que inducen patrones característicos de supervivencia [3]. Por tanto, cambios en las propiedades del agua producto de descargas de aguas servidas, residuos de actividades agropecuarias, variación en el caudal y temperatura del agua, propios de cambios en la estacionalidad hidrológica, pueden manifestarse en la riqueza y abundancia de los macroinvertebrados asociados al ecosistema [4]. Ello permite utilizarlos como instrumento válido en el monitoreo de la calidad del agua de ecosistemas acuáticos.

En este sentido, el estudio de la diversidad de macroinvertebrados presentes en ecosistemas lóticos constituye una herramienta determinante para conocer el estado actual de la calidad del agua, en un paisaje intervenido por el establecimiento de zonas de producción agropecuaria y tejido urbano. Además, contribuye al conocimiento de los macroinvertebrados acuáticos presentes en ecosistemas andino-amazónicos. Este es el caso del río Doncello y la quebrada Anayá, dos ecosistemas lóticos que atraviesan el casco urbano del municipio de El Doncello (Caquetá, Colombia), sujetos a presiones antrópicas y naturales

que determinarían los rasgos adaptativos de las poblaciones de macroinvertebrados y su composición [4], [5]. Así pues, el objetivo del presente estudio consistió en determinar la diversidad de macroinvertebrados acuáticos asociados a estos dos ecosistemas.

## Metodología

### Área de estudio

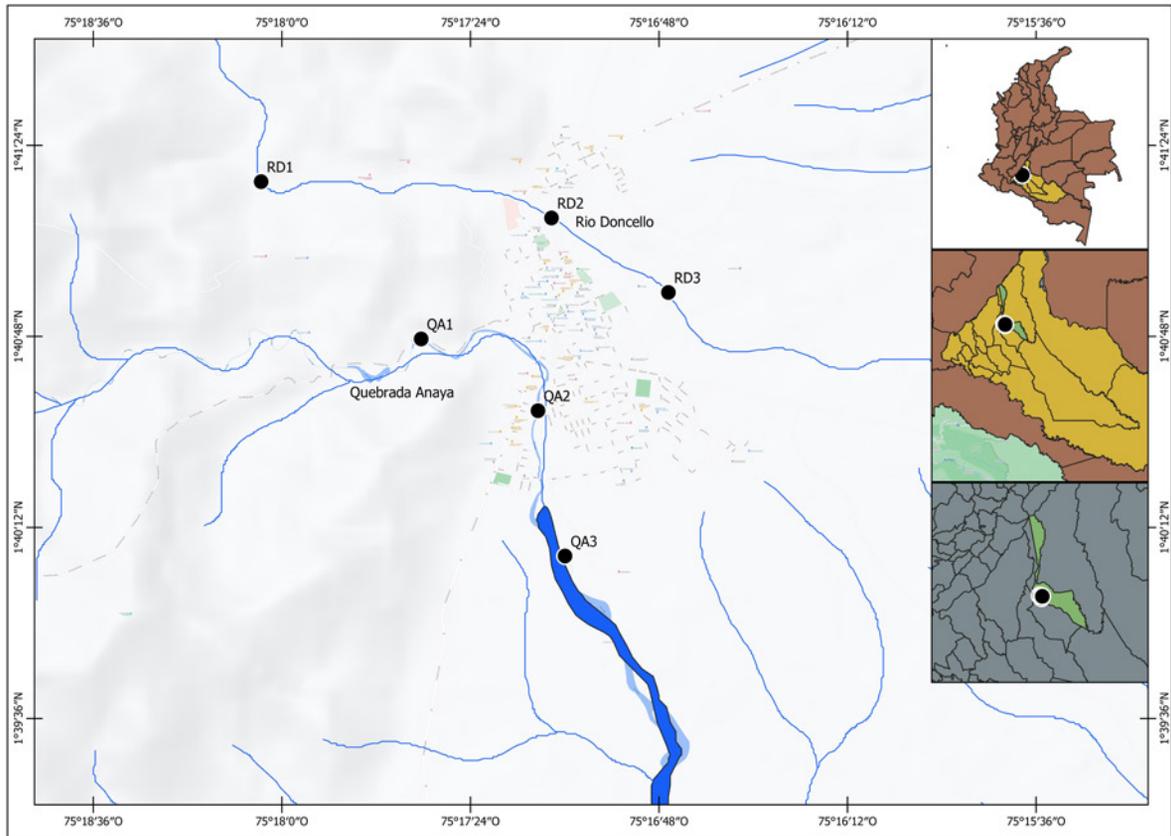
Esta investigación se realizó en el río Doncello y la quebrada Anayá, ubicados en el municipio de El Doncello, Caquetá, los cuales desempeñan funciones de abastecimiento de agua potable y captación de aguas residuales domésticas de la empresa de acueducto y alcantarillado municipal (figura 1).

### Río Doncello

Las estaciones de muestreo se establecieron en la zona de influencia del perímetro urbano de El Doncello: aguas arriba (RD1: 1°41'16,81"N; 75°18'5,21"O), dentro del área urbana (RD2: 1°41'11,10"N; 75°17'7,98"O) y aguas abajo (RD3: 1°40'58,55"N; 75°16'44,65"O) (figura 1). Este río nace a una altura aproximada de 1350 msnm y desemboca en el río Nema a una altura de 248 msnm; y recibe las aguas de las quebradas La Gallineta y el Consuelo. En su recorrido capta las aguas residuales domésticas de la zona norte de la cabecera municipal de El Doncello; además se encuentra sometido a presiones por la deforestación de la vegetación de ribera, el establecimiento de zonas de pastoreo para ganado bovino, criaderos porcícolas, avícolas y mataderos clandestinos.

### Quebrada Anayá

Las estaciones de muestreo se ubicaron aguas arriba (QA1: 1°40'47,52"N; 75°17'33,40"O), en el área urbana del municipio (QA2: 1°40'34,04"N; 75°17'11,45"O) y aguas abajo (QA3: 1°40'6,61"N; 75°17'5,94"O) (figura 1). La quebrada Anayá nace a una altura aproximada de 1500 msnm y desemboca en el río Guayas aproximadamente a 330 msnm. Es uno de los principales colectores de aguas residuales, pues capta a su paso las aguas residuales



**Figura 1.** Ubicación geoespacial de las estaciones de muestreo sobre el río Doncello y la quebrada Anayá. Las estaciones marcadas con los códigos RD1, RD2 y RD3 corresponden a las establecidas sobre el río Doncello antes, durante y después de la zona de influencia de la cabecera municipal, respectivamente; las marcadas con QA1, QA2 y QA3 son las estaciones definidas para la quebrada Anayá antes, durante y después de la zona de influencia del casco urbano de municipio.

**Fuente:** elaboración propia.

de los barrios Belalcázar, La Libertad, Brisas del Anayá, 20 de Abril, Abas Turbay y Camilo Torres, entre otros; además de sectores de la zona rural. Las principales presiones ambientales sobre este ecosistema se generan debido al establecimiento de zonas de producción agrícola y pecuaria, así como establecimientos recreativos [7].

## Colecta y preservación de muestras biológicas

Los muestreos se realizaron mensualmente desde agosto de 2019 hasta marzo de 2020, con un esfuerzo de muestreo de 180 horas/hombre por cada estación designada. Para la recolección de macroinvertebrados se utilizó una red tipo D, con malla de 250  $\mu\text{m}$ , mediante la remoción del

lecho en la mayor diversidad de microhábitats posible, siguiendo las indicaciones de Álvarez-Arango [1]. Adicionalmente, se aplicó el método de búsqueda intensiva en diferentes sustratos (rocas, troncos, arena, hojarasca, raíces, musgos) para representar todos los micronichos presentes en cada ecosistema. Los organismos encontrados se preservaron en alcohol al 96%, para su posterior determinación taxonómica en laboratorio, utilizando las claves especializadas [8]-[10].

La recolección de información primaria se complementó con la medición de parámetros *in situ*, tales como temperatura, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, potencial de hidrógeno (pH), sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica y caudal, realizando tres repeticiones por cada estación de muestreo.

## Análisis de información

En el análisis de la diversidad y estructura se utilizó el índice de Shannon y Wiener y de Margalef, dominancia (Simpson). Para evaluar la similitud, se utilizó el índice de Bray-Curtis. Estos índices son ampliamente utilizados para el estudio de la diversidad biológica. El índice de Shannon-Wiener es independiente del tamaño de la muestra y expresa la diversidad en función del número de relaciones que pueden construirse; además es muy apropiado para demostrar los cambios que experimenta la diversidad debido a las perturbaciones del ecosistema [8]. Por su parte, el índice de Margalef, aunque tiene funcionalidad similar, se calcula con base en el número de especies respecto al número total de individuos. Por tanto, puede verse afectado por el tamaño de la muestra, en especial cuando hay organismos con abundancias muy altas como Chironomidae y Philopotamidae.

Adicionalmente, se realizó una curva de acumulación de especies, con el objeto de evaluar la representatividad de los muestreos a través del cálculo de la riqueza esperada, utilizando los estimadores Chao 1, Chao 2 y Bootstraps. El estimador Chao 1 se calculó con base en la abundancia de cada población, especialmente en los taxones representados por un solo individuo (*singletons*) y los representados por 2 individuos (*doubletons*) [11]. Mientras que Chao 2 está basado en incidencia, es decir que se basa en datos de presencia-ausencia de un taxón y el número de veces presente en las muestras realizadas [11].

Tales estimadores se han empleado ampliamente para el estudio de macroinvertebrados, especialmente para definir la intensidad de los muestreos. Por otra parte, el estimador Bootstrap es recomendado en estudios de entomología, pues funciona mejor cuando hay especies raras en las comunidades. De acuerdo con Bautista-Hernández [12], este estimador no tiende a sobrestimar la verdadera riqueza, independientemente de qué tan frecuentes sean las especies raras en una comunidad.

Para evaluar la variabilidad de los parámetros físicos y químicos entre las estaciones de muestreo se hizo inicialmente la verificación de la normalidad de los datos con la prueba de Shapiro-Wilk

y la homogeneidad de varianza con la prueba de Bartlett. Luego, se realizó un ANOVA de un factor, la prueba de Tukey y un *t-test*. Por otra parte, se empleó un análisis de correspondencia canónica (ACC) para establecer relaciones entre las variables ambientales medidas y la diversidad de macroinvertebrados encontrados en las estaciones de muestreo. La evaluación biológica de la calidad del agua se realizó con los índices BMWP/Col, ASPT y EPT.

## Resultados y discusión

### Parámetros físicos y químicos

El pH osciló entre 6,80 (RD1) y 6,93 (QA1), según se reporta en la tabla 1. En el análisis de varianza, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre estaciones de muestreo ni entre ecosistemas de estudio. Los valores de referencia de pH para aguas naturales se encuentran entre 6,0 y 9,0 [8]; mientras que valores de pH entre 6,3 y 6,8 son considerados típicos de los ecosistemas amazónicos [13]. El pH está determinado por los procesos de fotosíntesis y respiración de los organismos acuáticos, las características de la cuenca de drenaje, la capacidad de amortiguación del medio, la transformación química de sustancias minerales y el vertimiento de contaminantes [14].

Los promedios de temperatura se ubicaron entre un rango con valor mínimo de 24,30 °C (RD1) y máximo de 27,25 °C (QA2). Aunque el análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre las estaciones de cada afluente, el *t-test* evidenció diferencias significativas entre ambos ecosistemas ( $t=2,78$ ;  $p<0,05$ ), y fue mayor en las estaciones de la quebrada Anayá. La temperatura del agua en zonas tropicales suele permanecer constante, con ligeras variaciones durante el ciclo nictemeral, a diferencia de las zonas templadas, donde varía ampliamente con el cambio estacional [8]. La temperatura afecta la solubilidad de los gases en el agua, por lo que la concentración de oxígeno disminuye a medida que aumenta la temperatura, lo cual afecta su disponibilidad para la comunidad de macroinvertebrados acuáticos [15].

Los sólidos disueltos totales (SDT) no mostraron diferencias significativas entre las estaciones de muestreo del río Doncello, a diferencia de la quebrada Anayá (F=9; p<0,05), de modo que las estaciones QA1 y QA3 se identificaron como significativamente diferentes, por medio de la prueba de Tukey. De acuerdo con la Resolución 631 de 2015, emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia [16], los valores obtenidos para SDT se encuentran dentro del límite permisible (70 mg/l).

Por su parte, la conductividad mostró diferencia significativa entre las estaciones QA1 y QA3 (F=12; p<0,05), posiblemente por el aporte de aguas residuales de origen doméstico observado en la zona. Los datos obtenidos son similares a los valores reportados en el río Fragua Chorroso, otro ecosistema andino-amazónico, considerado normal para este tipo de ambientes (30-60 µS/cm) [8], [17].

El porcentaje de saturación de O<sub>2</sub> se mantuvo entre 59,0 y 67,0%, pero se apreciaron diferencias significativas entre todas las estaciones ubicadas sobre la quebrada Anayá (F=26,58; p<0,05). De igual manera, se evidenciaron valores

significativamente más bajos para esta quebrada, en comparación con el río Doncello (t=2,77; p<0,05). Ecosistemas acuáticos saludables pueden presentar valores cercanos al 100 % de saturación, ya que variaciones por encima o por debajo pueden ser indicadores de perturbaciones, generalmente a causa de la contaminación orgánica [8].

El oxígeno disuelto (OD) no varió significativamente entre estaciones de muestreo, pero sí entre los dos afluentes (t=2,77; p<0,05) y la menor concentración fue detectada en la quebrada Anayá. El OD de las aguas superficiales no contaminadas oscila entre 7 y 14 mg/l, dependiendo de la temperatura, presión atmosférica y la concentración salina; por otro lado, los aportes de material orgánico alóctono son una de las principales causas de disminución del O<sub>2</sub> en el agua [14]. Los valores más bajos obtenidos en las estaciones QA2 y QA3 se relacionan con los resultados significativamente mayores de temperatura, TDS y conductividad que fueron detectados.

Finalmente, en el caudal no se encontraron diferencias significativas entre estaciones de muestreo de cada afluente, pero se comprobó un menor

**Tabla 1.** Variables ambientales físicas y químicas promedio registradas para el río Doncello (RD) y la quebrada Anayá (QA)

Variable	Estación					
	RD1	RD2	RD3	QA1	QA2	QA3
pH	6,800	6,850	6,920	6,930	6,810	6,840
σ	0,564	0,493	0,498	0,205	0,250	0,295
Temperatura (°C)	24,300	24,830	24,580	26,550	27,250	27,100
σ	0,900	1,746	1,676	1,118	0,568	1,150
SDT (mg/l)	30,000	30,000	30,000	30,000	35,000	40,000
σ	0,000	0,000	0,000	0,000	5,000	0,000
Conductividad (µS)	40,000	40,000	40,000	40,000	50,000	50,000
σ	0,000	0,000	0,000	0,000	5,000	0,000
%O <sub>2</sub>	66,800	67,070	65,470	63,900	59,000	61,750
σ	0,819	0,611	2,753	0,802	0,900	0,750
OD (mg/l)	5,570	5,430	5,360	5,100	4,770	4,890
σ	0,115	0,081	0,370	0,040	0,040	0,240
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	1,030	0,950	1,020	0,570	0,560	0,450
σ	0,370	0,365	0,135	0,119	0,051	0,025

σ: desviación estándar. SDT: sólidos disueltos totales. %O<sub>2</sub>: porcentaje de saturación de oxígeno. OD: oxígeno disuelto.

Fuente: elaboración propia.

caudal en la quebrada Anayá (T=2,77, p<0,05). El caudal juega un papel importante en la oxigenación del agua, ya que la velocidad del flujo y el choque contra el lecho rocoso contribuyen con el aumento de la concentración de oxígeno disuelto [8].

### Macroinvertebrados acuáticos

La comunidad de macroinvertebrados recolectados se agrupó en siete clases, quince órdenes,

56 familias y 95 géneros, para un total de 5384 organismos (tabla 2). El 91,6 % de los taxones registrados corresponde a la clase Insecta, mientras que el 8 % restante pertenece a las clases Gastropoda (3,2 %), Annelida (1,1 %), Arachnida (1,1 %), Hirudinea (1,1 %), Malacostraca (1,1 %) y Rhabdiphora (1,1 %). Los órdenes con mayor representación fueron Diptera y Trichoptera, ambos con nueve familias.

**Tabla 2.** Riqueza y abundancia de macroinvertebrados colectados en el río Doncello y la quebrada Anayá en las diferentes estaciones de muestreo

N°	Clase	Orden	Familia	Género	Número de individuos por estación						
					RD1	RD2	RD3	QA1	QA2	QA3	
1	Annelida	Oligochaeta	Haplotaxidae	ND		3	2	1	1	6	
2	Arachnida	Trombidiformes	Limnocharidae	<i>Rhyncholimnochaes</i>	1	2		1			
3	Gastropoda	Architaenioglossa	Ampullariidae	ND					1		
4		Hygrophila	Physidae	ND		1			1	14	
5		Hygrophila	Planorbidae	ND					8	69	
6	Hirudinea	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	ND		36		13	24	42	
7	Insecta	Coleoptera	Elmidae	<i>Cylloepus</i>	1	1	2	4			
8				<i>Disersus</i>	5	1	2	1			
9				<i>Heterelmis</i>	15	1	6	2	1	2	
10				<i>Hexanchorus</i>			1			1	
11				<i>Macrelmis</i>	4	5	11	3	1		
12				<i>Neoelmis</i>	3	2		4			
13				<i>Pseudodisersus</i>						1	
14				Dryopidae	<i>Dryops</i>		1	1	2		
15			<i>Elmoparnus</i>		8						
16			Hydrophilidae	<i>Helobata</i>	2						
17				<i>Hemiosus</i>						1	
18				ND						1	
19			Lampyridae	ND		2					1
20			Psephenidae	<i>Eubrianax</i>	1						
21				<i>Psephenops</i>	10	2	1	1			
22			Ptilodactylidae	ND		2	3		5		
23			Scirtidae	ND		1		1			
24			Staphylinidae	ND		2		1			2

Continúa

N°	Clase	Orden	Familia	Género	Número de individuos por estación						
					RD1	RD2	RD3	QA1	QA2	QA3	
25	Insecta	Diptera	Blephariceridae	<i>Limonicola</i>	2			7			
26			Chironomidae	ND	98	134	182	58	230	469	
27			Culicidae	<i>Culex</i>						2	
28			Dixidae	<i>Dixella</i>	5	1					
29			Psychodidae	<i>Clogmia</i>		1	1				
30				<i>Maruina</i>	12		4	5		1	
31			Sarcophagidae	ND					1		
32			Simuliidae	ND	6	16	133	86		1	
33			Tabanidae	ND		1					
34			Tipulidae	<i>Hexatoma</i>	13	11	3	8			
35				<i>Limonia</i>	1					1	
36				ND		1				2	
37			Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetodes</i>	51	49	120	29	12	8
38					<i>Camelobaetidius</i>	94	18	45	8	2	19
39		<i>Guajirolus</i>			4		5	2			
40		<i>Cloeodes</i>			3	7	10	1		4	
41		<i>Mayobaetis</i>			6	2		1			
42		ND			2						
43		Leptohiphidae		<i>Haplohyphes</i>	5	7	26	2	1		
44				<i>Leptohiphys</i>	8	15	12	12		1	
45				<i>Tricorythodes</i>	8	20	47	5	7	172	
46		Leptophlebiidae		<i>Terpides</i>	9	4	5	25	2	3	
47				<i>Thraulodes</i>	170	110	109	118		3	
48		Hemiptera		Corixidae	<i>Tenagobia</i>			1			4
49			Gelastocoridae	<i>Gelastocoris</i>		2					
50			Gerridae	<i>Darwinivelia</i>		1					
51				<i>Halobatopsis</i>						3	
52				<i>Trepobates</i>						2	
53				<i>Trepobatoidea</i>	1						
54			Mesoveliidae	<i>Mesoveloidea</i>	3	2					
55			Naucoridae	<i>Ambrysus</i>	3	1	2				
56				<i>Cryphocricos</i>	1	1	1				
57				<i>Limnocoris</i>	8	4	2		1	1	
58				<i>Procryphocricos</i>		1	2				
59			Saldidae	ND		1		1			
60			Veliidae	<i>Rhagovelia</i>	153	132	96	38	1	30	

Continúa

N°	Clase	Orden	Familia	Género	Número de individuos por estación						
					RD1	RD2	RD3	QA1	QA2	QA3	
61	Insecta	Lepidoptera	Crambidae	ND	1						
63				<i>Petrophila</i>	3	1	1			1	
64				<i>Crambinae</i>					1		
65			Noctuidae	<i>Nonagria</i>						1	
66			Megaloptera	Corydalidae	<i>Chloronia</i>	5	1		2	1	
67		<i>Corydalis</i>			31	23	28	14	1	6	
68		Odonata	Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>	2		2	3			
69			Coenagrionidae	<i>Argia</i>	2	1	6	6	1	1	
70			Gomphidae	<i>Phyllogomphoides</i>				1			
71					<i>Progomphus</i>					1	1
72			Libellulidae	<i>Argyrothemis</i>						1	2
73					<i>Elasmothermis</i>	1		4			1
74					<i>Perithemis</i>	2		1	1	1	4
75					Megapodagrionidae	<i>Heteragrion</i>	1				
76			Platystictidae	<i>Palaemnema</i>	7	4	3	2	1	1	
77			Polythoridae	<i>Polythore</i>	3			1			
78		Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	181	65	60	86		2	
79		Trichoptera	Calamoceratidae	<i>Banyallarga</i>				2			
80				<i>Phylloicus</i>	4	2					
81			Glossosomatidae	<i>Mortoniella</i>				1			
82					<i>Protoptila</i>		1				
83			Helicopsychidae	<i>Helicopsyche</i>			1		1	1	
84			Hydrobiosidae	<i>Atopsyche</i>	1		1				
85			Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>		41	46	14	42	2	1
86	<i>Smicridea</i>				18	33	38	43		3	
87	Hydroptilidae		<i>Anchitrichia</i>			6					
88	Leptoceridae		<i>Atanatotllica</i>		1						
89				<i>Grumichella</i>	26	3	1				
90				<i>Nectopsyche</i>	34		1	14	1	2	
91				<i>cf. Oecetis</i>	1						
92	Philopotamidae		<i>Chimarra</i>	90	97	218	167		1		
93	polycentropodidae		<i>Polycentropus</i>		11	8		7			
94				<i>Polyplectrophus</i>	1			1			
95	Malacostraca	Decapoda	Palemonidae	ND			2				
96	Rhabditophora	Tricladida	Dugesiiidae	<i>cf. Hallobata</i>	12	8	9	19	1	1	

ND: no detectado.

Fuente: elaboración propia.

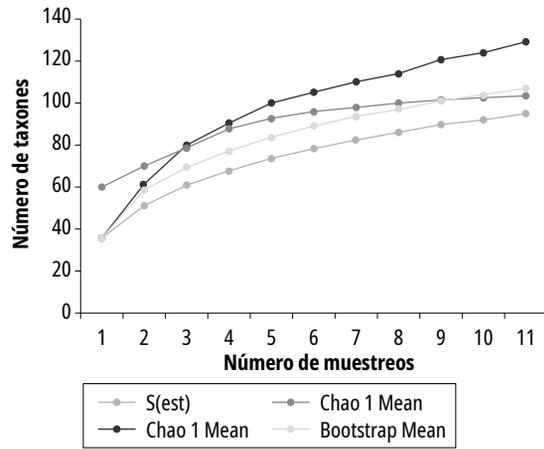
Los órdenes Diptera y Trichoptera presentaron la mayor riqueza (nueve familias cada uno) y abundancia (1456 y 989 individuos, respectivamente), representada principalmente por la familia Chironomidae (1171 individuos; 21,7% de las colectas) y Philopotamidae (573 individuos, 10,6% de las colectas). Estos órdenes están asociados a aguas limpias y, por tanto, son usados como indicadores de calidad [18].

Los resultados obtenidos concuerdan con investigaciones realizadas por Rodríguez *et al.* [19], quienes reportan 55 familias distribuidas en quince órdenes en el río Hacha, a la altura del municipio de Florencia (Caquetá), doce familias correspondientes al orden Diptera y nueve familias para Trichoptera. De igual manera, confirma la capacidad de recuperación del ecosistema después de atravesar el área urbana del municipio, por la disminución de la intensidad de la intervención antrópica, hecho reflejado en un aumento de la diversidad de macroinvertebrados acuáticos.

En un estudio realizado en dietas de peces en el mismo ecosistema, se identificaron quince órdenes, compuestos por 41 familias y 63 géneros; Trichoptera, Diptera y Coleoptera fueron los órdenes dominantes [20]. Finalmente, en un estudio realizado en la cuenca del río Caquetá se identificaron nueve órdenes pertenecientes a la clase Insecta, con la familia Chironomidae (Diptera) como una de las más abundantes y ampliamente distribuidas [21].

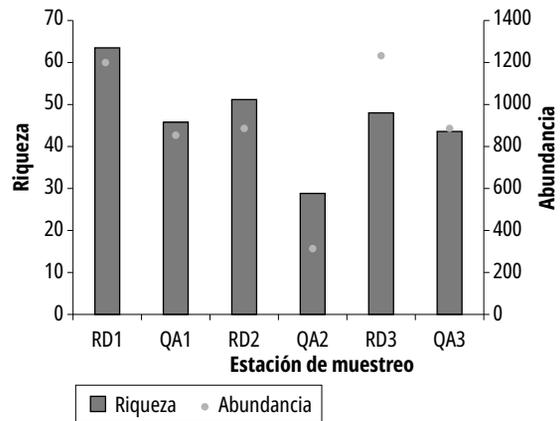
Los organismos colectados e identificados hasta nivel de género corresponden al 91,3%, 73,6% y 88,6% de los taxones esperados, según los estimadores Chao 1, Chao 2 y Bootstraps, respectivamente (figura 2). Si bien los porcentajes alcanzados indican un esfuerzo de muestreo eficiente y resultados significativos, es posible el registro de nuevos géneros o morfotipos, dado que la curva de acumulación se acerca parcialmente a la riqueza asintótica.

En los dos ecosistemas estudiados se demostró la existencia de diferencias estadísticas significativas, tanto en riqueza como en abundancia presentes en cada uno de ellos ( $t=4,30$ ;  $p<0,05$ ), pero se evidencian mayores valores en el río Doncello. Se encontró mayor riqueza de macroinvertebrados en las estaciones aguas arriba (RD1 y QA1), seguida por



**Figura 2.** Curva de acumulación de especies de macroinvertebrados acuáticos en el río Doncello y la quebrada Anayá, El Doncello-Caquetá.

Fuente: elaboración propia.



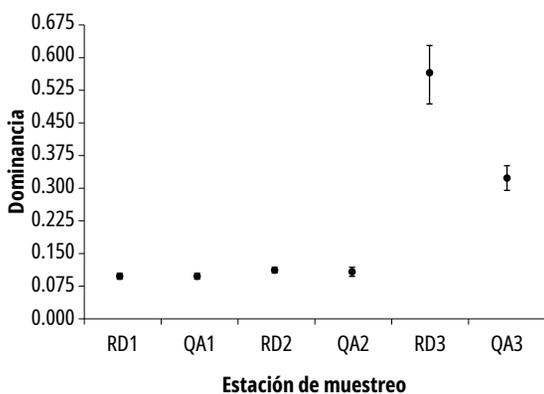
**Figura 3.** Riqueza y abundancia encontrados en las estaciones de muestreo ubicadas en el río Doncello y quebrada Anayá.

Fuente: elaboración propia.

los tramos aguas abajo (RD3, QA3) y, por último, las estaciones a la altura del municipio de El Doncello (RD2, QA2), según se muestra en la figura 3. Esto coincide con las zonas de mayor intervención ambiental, dado que son las estaciones con mayor pérdida de cobertura vegetal y donde se localiza la mayoría de los vertimientos de aguas residuales domésticas. Pese a las diferencias calculadas por medio de los índices de diversidad, las variaciones entre las estaciones de un mismo afluente no son significativas.

Las presiones ambientales a causa de los vertimientos de aguas servidas y la actividad ganadera

en los puntos QA2 y QA3 afectan a la comunidad de macroinvertebrados, pues generan baja riqueza y alta abundancia, por lo que se evidencian claros patrones de dominancia, especialmente de organismos muy tolerantes como Chironomidae (Diptera), Physidae, Planorbiidae (Gastropoda) y Haplotaxidae (Oligochaeta), taxones comunes en ecosistemas con evidente contaminación orgánica [18], [22] (figura 4).



**Figura 4.** Índice de dominancia (J) calculado para las estaciones de muestreo.

Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente, los índices de diversidad de Shannon-Wiener y Margalef obtuvieron sus valores más altos en las estaciones ubicadas aguas arriba (RD1 y QA1) (tabla 3), donde la menor intensidad de intervención antrópica y la diversidad de microhábitats permiten la colonización de mayor número de taxones.

Los resultados de diversidad concuerdan con la influencia negativa evidente de las actividades antrópicas sobre estos ecosistemas, principalmente por el vertimiento de aguas residuales, producción agropecuaria, recreación y construcción, siendo menores los valores para áreas más intervenidas [17], [19], [20]. De igual manera, la disponibilidad

de material orgánico alóctono (vegetación de ribera) y composición del lecho son determinantes para el establecimiento de una amplia variedad de organismos, con requerimientos de hábitat específicos, puesto que la colonización de estos se debe a las adaptaciones presentes en la comunidad de macroinvertebrados para el aprovechamiento de los recursos de cada microhábitat disponible [21].

El análisis de conglomerados utilizando el algoritmo UPGMA y la distancia de Bray-Curtis, permitió la formación de tres grupos, organizados de la siguiente forma: el primer clado estuvo conformado por las estaciones QA2 y QA3, correspondieron a las estaciones con mayor evidencia de afectación por la intervención antrópica, además de ser las menos diversas y abundantes en cuanto a composición de macroinvertebrados; mientras que presentaron los valores más altos de dominancia.

Por otra parte, el segundo clado estuvo conformado por las estaciones RD3 y QA1, que se caracterizaron por ser estaciones con mejores condiciones ambientales, aunque con evidencia de alteraciones ambientales de origen antrópico, generado principalmente por producción ganadera y asentamientos ecoturísticos.

Finalmente, el tercer clado estuvo conformado por las estaciones RD1 y RD2, en las que se observó menor grado de afectación por actividades antrópicas, además de valores de riqueza y abundancia elevados (figura 5).

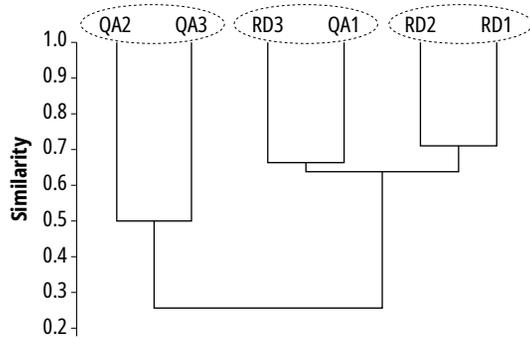
La mayor distancia se presentó entre las estaciones RD1, QA2 y QA3, mientras que la menor se evidenció entre las estaciones RD2 y QA1: 0,32 y 0,17, respectivamente. Adicionalmente, los grupos conformados permiten comprobar la existencia de diferencias significativas entre la riqueza y abundancia de las estaciones de la quebrada Anayá, especialmente las estaciones QA2 y QA3, con respecto a las estaciones ubicadas sobre el río Doncello.

**Tabla 3.** Índices de diversidad de Margalef y Shannon-Wiener, calculados para las estaciones de muestreo

Índice	Estación de muestreo					
	RD1	RD2	RD3	QA1	QA2	QA3
Margalef	9,022	7,506	6,747	6,664	4,886	6,328
Shannon H	2,973	2,841	2,724	2,814	1,213	1,77

Fuente: elaboración propia.

Estos resultados concuerdan con las diferencias significativas encontradas para temperatura, SDT, conductividad, porcentaje de saturación de O<sub>2</sub> y caudal, especialmente para QA2 y QA3.

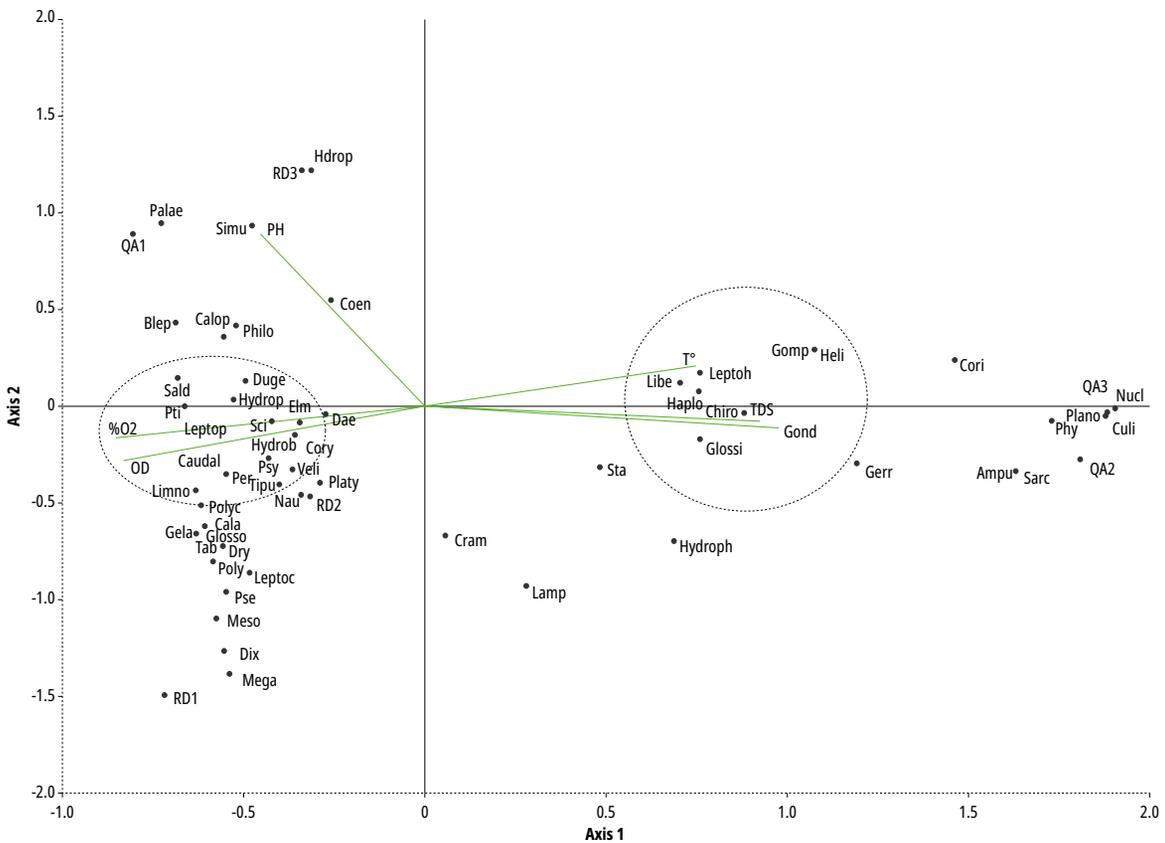


**Figura 5.** Dendrograma de Bray-Curtis calculado para las estaciones de muestreo.

Fuente: elaboración propia.

El análisis de correspondencia explicó el 85,7 % de la varianza total (figura 6). El primer eje se asoció positivamente con la temperatura, STD y conductividad, relacionados con las estaciones QA2 y QA3 y las familias Physidae, Planorbidae, Leptohyphidae y Haplotaxidae, principalmente. Estos taxones se caracterizan por presentar tolerancia a las perturbaciones ambientales, por lo cual son indicadores de contaminación orgánica en las estaciones asociadas; negativamente, se asocian con el oxígeno disuelto y caudal correlacionado con la estación RD2, donde se destacan las familias Platytyctidae, Veliidae, Naucoridae, Tipulidae, Corydalidae y Perlidae.

Con el eje 2 no se diferencian claramente relaciones positivas entre los parámetros medidos con las estaciones muestreadas, aunque sí se observa relación entre la temperatura y familias como



**Figura 6.** Análisis de correspondencia canónica para mostrar la relación entre las familias de macroinvertebrados presentes en las estaciones de muestreo y las variables ambientales medidas (vectores). Temperatura (T°), conductividad (Cond), pH, oxígeno disuelto (OD), porcentaje de saturación de oxígeno (% O<sub>2</sub>), sólidos totales disueltos (TDS) y caudal.

Fuente: elaboración propia.

Gomphidae, Leptohiphidae, Haplotaxidae y Libellulidae; mientras que las variables ambientales oxígeno disuelto (OD), porcentaje de saturación (% O<sub>2</sub>) y caudal se relacionan negativamente con las estaciones RD1 y RD2, y las familias Leptophlebiidae, Corydalidae, Psychodidae y Perlidae, entre otras.

A nivel espacial no se observaron grandes variaciones en las variables físicas y químicas, a excepción de las estaciones QA2 y QA3. Ello indica contaminación orgánica por el aumento de iones y sólidos disueltos totales, debido a la intensidad de las descargas de aguas residuales domésticas y la alteración de las coberturas vegetales para el establecimiento de pastizales.

Los macroinvertebrados acuáticos más sensibles pueden responder fuertemente a las variaciones en los parámetros físicos y químicos, especialmente el pH, la conductividad, el oxígeno disuelto y la temperatura [9], [18]. Esto concuerda con lo observado en estaciones relativamente bien conservadas, como RD1 y RD2 y las más afectadas como QA2 y QA3. Estos resultados son similares a los obtenidos por Chaux *et al.* [17], donde las variables más influyentes para la comunidad de macroinvertebrados

fueron temperatura, pH, sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto y conductividad.

## Índices de calidad de aguas

Con base en la composición de familias encontrada para cada punto de muestreo, se calculó la calidad del agua a partir de atributos como presencia o ausencia de familias (BMWP/Col), promedio por familias (ASPT) y porcentaje de individuos pertenecientes a los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT), como se observa en la tabla 4.

En los valores obtenidos puede apreciarse que los índices presentan tendencias diferentes, posiblemente debido a que el índice BMWP/Col se calcula en función de la presencia o la ausencia de una familia; por ejemplo, la familia Blephariceridae presenta una calificación de 10, independientemente de su abundancia en las estaciones donde esté presente; de igual manera, los Chironomidae contarán con una calificación de 2, aunque su abundancia sea significativamente menor en tramos que evidencien buen estado de conservación.

Por su parte, el índice EPT valora la abundancia de los organismos para determinar la calidad del agua, representada por el porcentaje de individuos

**Tabla 4.** Calidad del agua medida mediante los índices bióticos BMWP, ASPT y EPT en cada estación de muestreo

Calidad del agua por estación						
	RD1	RD2	RD3	QA1	QA2	QA3
BMWP/Col						
Calculado	268	223	207	216	141	198
Rango	≥150	≥150	≥150	≥150	123-149	≥150
Calidad	Aguas muy limpias	Aguas muy limpias	Aguas muy limpias	Aguas muy limpias	Aguas no contaminadas	Aguas muy limpias
ASPT						
Calculado	7,1	6,6	6,7	7,0	6,4	6,2
Rango	>6,5-8	>6,5-8	>6,5-8	>6,5-8	>4,5-6,5	>4,5-6,5
Calidad	Ligeramente contaminada	Ligeramente contaminada	Ligeramente contaminada	Ligeramente contaminada	Moderadamente contaminada	Moderadamente contaminada
EPT						
Calculado (%)	64,0	55	59	66	9	25
Rango (%)	50 -74	50 -74	50 -74	50 -74	0 - 24	25 - 49
Calidad	Buena	Buena	Buena	Buena	Mala	Regular

Fuente: elaboración propia.

pertenecientes a los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, con respecto al total de organismos colectados. Siendo así, algunos taxones que se encontraron con altos valores de abundancia, como Chironomidae y Simuliidae (Insecta: Diptera), Philopotamidae (Insecta: Trichoptera) o Veliidae (Insecta: Hemiptera), entre otros, pueden inducir a errores en el cálculo de este índice, en comparación con el estado real de la calidad del agua [23].

Según Chaux *et al.* [17], los resultados de calidad obtenidos para un ecosistema andino-amazónico para el índice BMWP oscilaron entre 139 y 275, similares a los obtenidos en la presente investigación. En el caso de los estudios realizados en el río Hacha, de Florencia (Caquetá) [19], [24], la calidad del agua se deterioró en la medida que recibió las aguas residuales domésticas de esa ciudad, pero tiende a mejorar una vez fue atravesada el área urbana. Este comportamiento de autodepuración también se observó en el presente trabajo con los índices BMWP y EPT para las estaciones de muestreo ubicadas en la quebrada Anayá, la cual recibe las aguas residuales domésticas de la zona sur del municipio de El Doncello.

## Conclusiones

Se obtuvieron variaciones significativas de los parámetros ambientales físicos y químicos, en especial el oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de O<sub>2</sub>, conductividad y temperatura, especialmente para las estaciones de muestreo de la quebrada Anayá. Se identificaron 95 géneros, 56 familias y 15 órdenes. Chironomidae (Diptera) fue la familia más abundante, seguida por Philopotamidae (Trichoptera) y Leptophlebiidae (Ephemeroptera). Aunque las variaciones en la abundancia y riqueza no fueron significativas, los índices bióticos de calidad, en especial ASPT y EPT, obtuvieron los valores más bajos para las estaciones QA2 y QA3, lo que concuerda con la diferencia significativa encontrada entre los parámetros físicos y químicos medidos.

Dichas diferencias se deben, probablemente, a los vertimientos de aguas residuales domésticas observados, captados por el sistema de alcantarillado

municipal y el establecimiento de zonas de producción agropecuaria, especialmente bovina. Los valores de calidad más altos obtenidos en el presente estudio se encontraron en las estaciones de muestreo aguas arriba de ambos afluentes, donde la intensidad de la intervención antrópica es menos evidente. La comunidad de macroinvertebrados reportados respondió a las perturbaciones antrópicas en los ecosistemas de estudio; las estaciones menos intervenidas presentaron la mayor riqueza, mientras que las más afectadas presentaron una baja diversidad y alta dominancia.

## Agradecimientos

Al Plan Departamental del Agua (PDA) de la gobernación de Caquetá y al programa Ondas-Caquetá, por el suministro de equipos de campo, laboratorio e insumos indispensables para realizar esta investigación. Al grupo de investigación Calidad de Aguas y Servicios Ambientales de la Institución Educativa Marco Fidel Suárez, por su acompañamiento durante la fase de campo. A la Bióloga M. Sc. Ginna Patricia Velasco, por sus aportes y comentarios.

## Referencias

- [1] L. F. Álvarez-Arango, *Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2005.
- [2] L. P. Alonso-Eguía, J. M. Mora, B. Campbel y M. Springer, (eds.), *Diversidad, conservación y uso de los macroinvertebrados dulceacuícolas de México, Centroamérica, Colombia, Cuba y Puerto Rico*. Querétaro: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Universidad Autónoma de Querétaro, 2014.
- [3] G. Roldán-Pérez, “Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua”, *Academia Colombiana de Ciencia*, vol. 23, n.º 88, pp. 375-387, 1999.
- [4] M. Longo, H. Zamora, C. Guisande y J. J. Ramírez, “Dinámica de la comunidad de macroinvertebrados en la quebrada Potrerillos (Colombia) respuesta a los cambios estacionales de caudal”, *Limnetica*, vol. 29, n.º 2, pp. 195-210, 2010.

- [5] L. Santos, D. Correia y J. Santos, “Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de impacto urbano”, *Journal of Environmental Analysis and Progress*, vol. 1 n.º 1, pp. 34-42, 2016.
- [6] Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia, *Plan de ordenación y manejo de la cuenca de la quebrada El Doncello (El Doncello), departamento de Caquetá* [En línea]. Corpoamazonía, Caquetá, 2009, 166 pp. Disponible en [https://www.corpoamazonia.gov.co/files/Ordenamiento/POMCA/POM\\_doncello.pdf](https://www.corpoamazonia.gov.co/files/Ordenamiento/POMCA/POM_doncello.pdf)
- [7] J. Díaz-Díaz. *Plan de urbano de gestión del riesgo de desastres* [En línea]. Doncello, Caquetá, 2011. Disponible en <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/408>
- [8] G. Roldán, *La bioindicación de la calidad del agua en Colombia*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia, 2003.
- [9] E. Domínguez y H. R. Fernández (Eds.), *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*, Tucumán: Fundación Miguel Lillo, 2009.
- [10] N. Hamada, J. H. Thorp D. D. Rogers (Eds.), *Thorp and Covich's freshwater invertebrates*. Volumen. 3. *Keys to neotropical Hexapoda*. Lawrence: Academic Press, 2018.
- [11] T. E. Espinosa, “¿Cuántas especies hay? Los estimadores no paramétricos de Chao”, *Elementos*, vol. 52, pp. 53-56, 2003.
- [12] C. E. Bautista, S. Monks y G. Pulido, “Los parásitos y el estudio de su biodiversidad: un enfoque sobre los estimadores de la riqueza de especies”, *Estudios científicos en el estado de Hidalgo y zonas aledañas*, vol. 2, pp. 13-17, 2013.
- [13] G. R. Pérez y J. J. Restrepo, *Fundamentos de limnología neotropical*, vol. 15. Medellín: Universidad de Antioquia, 2008.
- [14] L. M. Losada y M. P. Rodríguez, *Manual de análisis de calidad de aguas en ecosistemas acuáticos andino-amazónicos: análisis físicos y químicos*. Florencia: Vicerrectoría de Investigaciones, Universidad de la Amazonia, 2013.
- [15] G. R. Pérez y J. J. Restrepo, *Fundamentos de limnología neotropical*, vol. 15. Medellín: Universidad de Antioquia, 2008.
- [16] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2015, 17 de marzo), Resolución 631 De 2015. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones [En línea]. Disponible en <https://www.rds.org.co/es/recursos/resolucion-631-de-2015-parametros-vertimientos>
- [17] J. P. Chauv, G. A. Pimentel, B. Murcia, L. C. Chaves, L. C. Acosta y L. F. Suárez. “Biodiversidad de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos asociados al Río Fragua Chorroso y su papel como bioindicador de calidad de agua”, *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, vol. 14, n.º 2, pp. 130-137, 2018.
- [18] G. Roldán-Pérez, *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Bogotá: Fondo para la Protección del Medio Ambiente “José Celestino Mutis”, 1996.
- [19] M. Peláez y J. J. Remicio, “Medidas mitigadoras para la recuperación de la calidad de agua de un río andino-amazónico colombiano”, en *Evaluación ambiental integral de ecosistemas degradados de Iberoamérica: experiencias positivas y buenas prácticas*, L. Fernández, A. Vanina y M. Salgot, Eds. Barcelona: Programa CYTED, 2014, pp. 195-256.
- [20] J. Gutiérrez, M. Peláez y H. Ovalle, “Macroinvertebrados acuáticos presentes en dietas de peces de la cuenca del río Hacha (Caquetá, Colombia). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. 40, n.º 156, pp. 420-432, 2016.
- [21] B. M. Ordóñez y L. C. Moreno, “Macroinvertebrados acuáticos (clase Insecta) como bioindicadores en la cuenca alta del río Caquetá”, en *Amazonia y agua: desarrollo sostenible en el siglo XXI*, B. Bernal, C. Sierra y M. Angulo, Eds. Servicio Editorial de la Unesco Etxea, 2010, pp. 131-138.
- [22] G. Roldán-Pérez, “Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica”, *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. 40, n.º 155, pp. 254-274, 2016.
- [23] C. Hahn von Hessberg, D. Toro, A. Grajales, G. Duque y L. Serna, “Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, en la estación piscícola, Universidad de Caldas, Municipio de Palestina, Colombia”, *Boletín Científico Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, vol. 13, n.º 2, pp. 89-105, 2009.
- [24] S. I. Erazo, S. Gaspar y M. P. Rodríguez, “Aplicación de índices bióticos para la evaluación de la calidad del agua de un río andino amazónico”, *Momentos de Ciencia*, vol. 9 n.º 2, pp. 106-112, 2012.

