

BIODIVERSIDAD DE LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS ASOCIADOS AL RÍO FRAGUA CHORROSO Y SU PAPEL COMO BIOINDICADOR DE CALIDAD DE AGUA

BIODIVERSITY OF THE COMMUNITY OF AQUATIC MACROINVERTEBRATES ASSOCIATED WITH THE FRAGUA CHORROSO RIVER AND ITS ROLE AS A WATER QUALITY BIOINDICATOR

Juliette Pauline CHAUX¹, Gustavo Adolfo PIMENTEL-PARRA^{1*}, Betselene MURCIA-ORDOÑEZ¹, Luis Carlos CHAVES-MORENO¹, Laura Carolina ACOSTA¹, Luisa Fernanda SUÁREZ¹

¹ Grupo de Investigación en Biodiversidad y Desarrollo Amazónico “BYDA”, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de la Amazonia, Florencia-Caquetá, Colombia.

* Autor corresponsal. E-mail: gustavoadolfofopimentelparra@hotmail.com

Historia del artículo

Recibido: Febrero 14, 2018

Evaluado: Mayo 10, 2018

Aceptado: Junio 5, 2018

Disponible: Julio 31, 2018

Resumen |

Durante los meses de octubre y diciembre del 2016, en el municipio de San José del Fragua (Caquetá, Colombia), se realizó un estudio sobre la identificación de la biodiversidad de macroinvertebrados acuáticos y su papel como bioindicadores de calidad del agua. Se establecieron tres estaciones de monitoreo, con un total de 13 puntos de muestreo. Las variables físicas (temperatura, conductividad) y químicas (pH, SDT, %OD) se evaluaron con un multiparámetros (Hanna). Las muestras biológicas se recolectaron con redes de Surber (área muestreada 0,36 m²; ojo de malla 500 µm), redes de pantalla (área muestreada 1.6 m²; ojo de malla 350 µm), y redes D (área muestreada 0.9 m²; ojo de malla 500 µm). Se encontraron 1357 individuos distribuidos en 13 órdenes y 36 familias; el orden Trichoptera es el más diverso con nueve familias (Glossosomatidae, Leptoceridae, Hydropsychidae, Odontoceridae, Calamoceratidae, Helicopsychidae, Philopotamidae e Hydroptilidae). La calidad biológica del agua se determinó al implementar el índice BMWP/Col, el cual arrojó resultados de aguas de buena calidad (Clase I). Se concluyó que el estado del agua del río Fragua Chorroso presenta buena calidad, con excelente capacidad de autodepuración. Además, es apta para preservarla y utilizarla como un recurso para la conservación de la flora y la fauna de la zona, así como fuente abastecedora para el consumo humano.

Palabras clave: biodiversidad; bioindicador; macroinvertebrados acuáticos; calidad del agua; variable

Abstract |

During the months of October and December 2016, a study was carried out to identify the biodiversity of aquatic macroinvertebrates and their role as bioindicators of water quality in the municipality of San José del Fragua (Caquetá-Colombia). Three monitoring stations were established, with a total of 13 sampling points. Physical variables (temperature, conductivity) and chemical variables (pH, SDT, % OD) were evaluated with a multiparameter (Hanna), biological samples were collected with surber networks (area sampled 0.36 m², eye mesh 500 µm), screen networks (area sampled 1.6 m², mesh eye 350 µm) and networks D (area sampled 0.9 m², eye mesh 500 µm), finding 1357 individuals distributed in 13 orders and 36 families, being the order Trichoptera the most diverse with 9 families (Glossosomatidae, Leptoceridae, Hydropsychidae, Odontoceridae, Calamoceratidae, Helicopsychidae, Philopotamidae and Hydroptilidae). The biological quality of the water was determined by implementing the BMWP/Col index, which produced results of good quality water (Class I). Concluding that the state of the water of the Fragua Chorroso river presents good quality, with excellent capacity for self-purification and apt to be preserved and used as a resource for the conservation of the flora and fauna of the area as well as supplying source for human consumption.

Keywords: aquatic macroinvertebrates; biodiversity; bioindicator; variable; quality of water

INTRODUCCIÓN |

La fuerte presión humana a la que han estado sometidos los sistemas fluviales ha generado reducción de aguas potencialmente potables para consumo humano, riego, uso industrial y recreación (World Wildlife Fund, 2016). Además de los factores antrópicos, los recursos hídricos se ven afectados por la contaminación generada a partir de causas naturales, ligadas a procesos físicos y biológicos que provocan modificaciones y alteraciones en estos ecosistemas (Gil-Gómez, 2014).

Para el análisis del estado de las cuencas hidrográficas se emplean diferentes métodos, con base en los parámetros físicos, químicos o microbiológicos (Restrepo, 2013; Valcarcel-Rojas *et al.*, 2009; Valencia-Escobar, 2011). En la actualidad, la comunidad de macroinvertebrados se ha convertido en una herramienta biológica fundamental y de fácil acceso para el estudio de calidad de los ecosistemas fluviales, y sirven como base en la vigilancia y control en la calidad de las aguas (Arango *et al.*, 2008; Gamboa *et al.*, 2008; García-Pérez *et al.*, 2013; Hanso *et al.*, 2010). No obstante, el incremento de la urbanización y la expansión de la frontera agrícola durante las últimas décadas han generado una reducción en la diversidad biológica, lo cual afecta a la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, en razón al aumento de carga orgánica e inorgánica en las corrientes de agua (Giacometti y Bersosa, 2006; Gil-Gómez, 2014; Martínez-García, 2010).

El río Fragua Chorroso, ubicado dentro del área de reserva del Parque Nacional Natural Alto Fragua Indi Wasi, en el municipio de San José del Fragua, posee importancia como atractivo turístico, recreativo y de uso pecuario. La diversidad paisajística que posee genera variabilidad en la cobertura vegetal, y su ubicación estratégica en el área de reserva, así como las diferencias en la pendiente altitudinal favorecen la diversidad faunística en el cauce principal del río. La cobertura vegetal presente aporta material al cauce y a la zona de influencia al determinar la composición de la comunidad de macroinvertebrados asociados, lo que genera gran interés en estudios que permitan el manejo y la conservación en este ecosistema acuático. En la actualidad, esto lo aprovechan los habitantes de las cabeceras municipales de los municipios de San José del Fragua, Albania y las fincas por donde realiza su recorrido, de manera que se ve sometido a diferentes actividades antrópicas (usos recreativos, ganadería, riego, transporte fluvial, etc.), algunas de ellas estratégicas para el desarrollo de la región. Esto genera diversos cambios que ocasionan la reducción de la cobertura vegetal con efectos directos a la biota presente en las riberas del río (Vergara, 2015).

A pesar de los servicios ecosistémicos que representa la cuenca del río Fragua Chorroso para la región, no se compensa su importancia con estudios en los que se valore la calidad del agua, con base en la presencia de organismos bioindicadores como, por ejemplo, los macroinvertebrados. Por tanto, el objetivo de esta investigación fue identificar la biodiversidad de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos asociados

al río Fragua Chorroso (San José del Fragua-Caquetá), y su papel como bioindicadores de calidad de agua.

MATERIALES Y MÉTODOS |

Área de estudio

El área de estudio comprende la cuenca del río Fragua Chorroso (Fig. 1), el cual nace a los 1970 msnm en el Parque Natural Alto Fragua Indi Wasi, jurisdicción de Parques Naturales de Colombia, en el municipio de San José del Fragua (Fig. 2). Tiene una longitud de 85.94 km, durante su recorrido por la cuenca lleva una dirección noroccidente-suroriente y desemboca en la margen izquierda del río Pescado al noroccidente del casco urbano del municipio de Valparaíso (Corpoamazonia *et al.*, 2010).

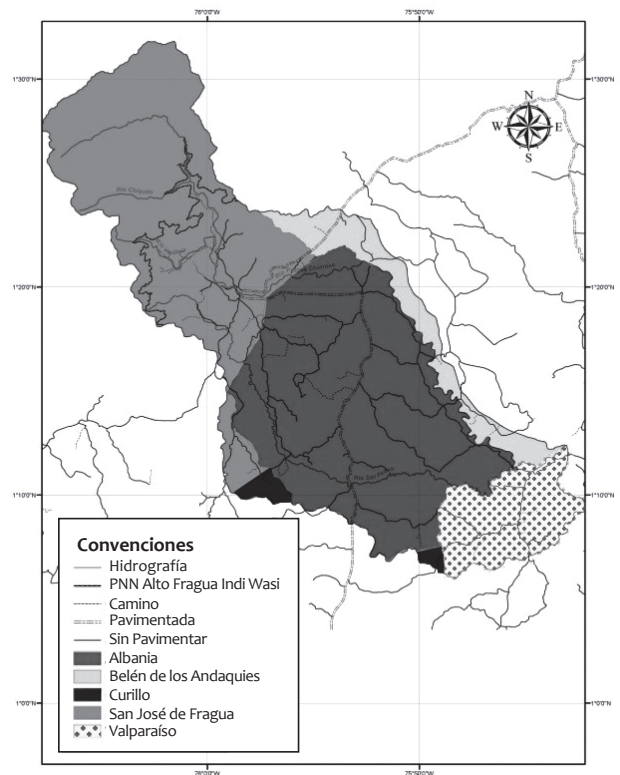


Figura 1. Localización de la cuenca del río Fragua Chorroso. Fuente: (Corpoamazonia *et al.*, 2010).

La cuenca se reparte entre los municipios de San José del Fragua, Albania, Valparaíso y una pequeña parte de Belén de los Andaquíes y Curillo (Vergara, 2015). Sin embargo, el recorrido se realizó solo en la parte que comprende el municipio de San José del Fragua, donde se establecieron tres estaciones de muestreo: la vereda Bosque Alto (E1), la vereda Bosque Bajo (E2) y el casco urbano de la cabecera municipal (E3). Se plantearon cinco puntos de muestreo por estación, sin embargo, por problemas de seguridad, en la E1 se tomaron solo tres (Tabla 1). Para la selección de las estaciones de monitoreo se tuvieron en cuenta las características importantes en los

puntos de recolección, tales como las presiones antrópicas (asentamientos humanos subnormales) que causan posibles variaciones en la calidad del agua.



Figura 2. Ubicación geográfica del Parque Nacional Natural Alto Fragua Indi Wasi. Fuente: Polo-Perdomo (2016).

Recolecta e identificación de macroinvertebrados acuáticos

Se realizaron seis salidas de campo para la toma de muestras fisicoquímicas y recolecta de macroinvertebrados acuáticos durante octubre y diciembre. Los organismos se recolectaron con redes de Surber (área muestreada 0.36 m²; ojo de malla 500 µm), redes de pantalla (área muestreada 1.6 m²; ojo de malla 350 µm), y redes D (área muestreada 0.9 m²; ojo de malla 500 µm) (Ramírez, 2010). Una vez capturados, se separaron con pinces y pinzas y se transportaron en viales con alcohol al 70%, debidamente rotulados, hasta el laboratorio FA-UA de la Universidad de la Amazonia (Murcia-Ordóñez y Chaves-Moreno, 2009; Roldan-Pérez, 2003).

Los individuos capturados se identificaron hasta nivel de familia con la ayuda de las claves taxonómicas de Roldán-Pérez (1988), Darrigan et al. (2007), Springer et al. (2010) y Gutiérrez-Fonseca (2010), y con estereoscopio (Olympus SZXg) a objetivos de 40X y 100X. Finalmente, los organismos se preservaron en viales plásticos debidamente rotulados y con alcohol al 75%.

El análisis de los parámetros físicos y químicos de las muestras de agua se realizó en campo con el empleo de un equipo multiparámetros Hanna, el cual examina datos de pH, conductividad, sólidos totales, temperatura y oxígeno disuelto.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de componentes principales (ACP), a fin de establecer relaciones entre los parámetros evaluados y las estaciones de muestreo, para lo cual se utilizó el software estadístico InfoStat (Di Rienzo et al. 2017). También se evaluaron los índices de diversidad de Shannon-Wiener (H'), equidad de Pielou (J) y riqueza específica de Margalef (DMg) de las tres estaciones de muestreo con implementación del programa de cálculo de índices de biodiversidad de Aristizábal (Aristizábal, 2005).

Tabla 1. Datos generales de cada estación de muestreo ubicada en el río Fragua Chorroso.

ESTACIÓN	E1	E2	E3
NÚMERO DE PUNTOS DE MUESTREO	3	5	5
Ubicación	Zona alta del río ubicada en la vereda Bosque Alto	Zona media del río ubicada en la vereda Bosque Bajo	Zona baja del río ubicada en el casco urbano del municipio
Coordenadas	01° 25' 4.7" N 076° 00' 48.0" W	01° 20' 55.7" N 075° 59' 33.5" W	01° 20' 3.2" N 075° 58' 43.1" W
Altitud	732 msnm	428 msnm	379 msnm
Características	De difícil acceso, con presencia de bosques naturales con baja intervención, semicubierto con presencia de cultivos ilícitos y presencia abundante de rocas de gran tamaño de origen metamórfico que favorecen la oxigenación del agua.	Altamente intervenida (ganadería) lo que ha hecho que se modifique el bosque por potreros, el fragmento del río es bastante rocoso, lo cual hace que su corriente sea rápida; su cauce es amplio con más de 20 metros.	Ausencia de bosque nativo. Sin embargo, se evidencia la mayor área de bosque intervenido, debido a la presencia de asentamientos humanos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables físicas y químicas

El comportamiento del pH en las tres estaciones (E1, E2 y E3) fue relativamente bueno, con un valor mínimo de 7.31 para la E3 y un máximo de 7.34 para la E1 y la E2. Según Roldan-Pérez (2003) y Valencia (2011), estos valores se encuentran dentro del rango normal para aguas naturales, el cual oscila entre 6.0 y 9.0 (Tabla 2).

Los valores de conductividad eléctrica en la E1 fueron favorables con un valor de 42.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabla 2), el cual se encuentra dentro del rango establecido para ríos de montañas (30 y 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (Roldan-Pérez, 2003; Valencia 2011). Sin embargo, resultan preocupantes los resultados obtenidos en las E2 y E3, pues superan por mínima diferencia el rango señalado, lo cual se ve asociado al aumento de la temperatura (Rivera *et al.*, 2004).

Los sólidos disueltos totales (SDT) registraron un comportamiento bueno para las tres estaciones y presentaron poca variabilidad. En la E1 fue de 12 mg/L, en la E2 de 18,4 mg/L y en la E3 de 22,5 mg/L (Tabla 2), lo cual indica que la calidad del agua es buena en la cuenca del río Fragua Chorroso, según lo establecido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (2015) en la Resolución 631, la cual señala que los SDT para este tipo de sistema hídrico no deben ser superiores a 70 mg/L.

La saturación de oxígeno disuelto (OD) registró datos por encima del 80% para la E3 con un valor de 89,7; en las E1 y E2 registró datos de saturación con un valor de 93.4 y 98.3, respectivamente (Tabla 2). Según Roldan-Pérez (2003), el valor ideal de porcentaje de saturación de oxígeno disuelto es de 100%, valores por encima o por debajo de este porcentaje indican que algo está perturbando el ecosistema. Por tanto, se puede indicar que el factor principal que redujo el porcentaje de OD en las tres estaciones son las actividades generadas por el aumento de la descarga orgánica que consume el oxígeno disuelto para su descomposición (Montoya-Grisales, 2016).

Tabla 2. Valores físicos y químicos registrados en el río Fragua Chorroso (SDT: sólidos totales disueltos).

ESTACIÓN	E1	E2	E3
pH	7.34	7.34	7.31
Temperatura °C	21.2	22.3	24.9
Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$	42.6	61.35	63.25
SDT mg/L	12	18.4	22.5
% Oxígeno disuelto	93.4	98.3	89.7

Diversidad de macroinvertebrados acuáticos

Los macroinvertebrados en el río Fragua Chorroso estuvieron representados por un total de 1357 individuos, distribuidos en cinco clases, 13 órdenes y 36 familias. La clase Insecta es la más diversa con nueve órdenes y 31 familias, seguida por la clase Crustacea con un orden y dos familias y, finalmente, las clases Gastropoda, Turbellaria y Arachnoidea con un orden y una familia cada una (Tabla 3).

La E1 estuvo representada por nueve órdenes distribuidos en 18 familias. La familia Glossosomatidae, del orden Trichoptera, es la más abundante con un total de 102 individuos, seguida por la familia Veliidae del orden Hemiptera con 50 individuos. Estas familias se caracterizan por habitar aguas corrientes de fría a cálida, bien oxigenadas y son indicadores de aguas oligotróficas (Roldan-Pérez, 2003; Castro *et al.*, 2015; Roldan-Pérez, 2016). Finalmente, las familias con la menor abundancia, representadas por un solo individuo cada una, fueron Trichodactylidae, Palaemonidae, Helicopsychidae (indicador de aguas oligomesotróficas), Calamoceratidae (indicador de aguas oligotróficas con puntaje 10) (Daza-Rodríguez y Patiño-Ramírez, 2016; Roldan-Pérez, 2016), Libellulidae y Pyralidae.

La E2 estuvo representada por 12 órdenes distribuidos en 30 familias. Fue la estación con la diversidad más alta. Las familias más abundantes fueron Elmidae (85 individuos), Baetidae (73 individuos), Veliidae (71 individuos) y Hydropsychidae (63 individuos), mientras que las familias con menor abundancia fueron Driopyidae, Naucoridae, Psychodidae, Hydraenidae, Pyralidae, Simuliidae y Chironomidae, cada una con un individuo en toda la estación.

La E3 estuvo representada por ocho órdenes distribuidos en 21 familias. La familia más abundante es Hydropsychidae del orden Trichoptera con 136 individuos, la siguen la familia Veliidae del orden Hemiptera con 93 individuos y la familia Perlidae del orden Plecoptera con 85 individuos.

Los resultados de los índices de diversidad de Margalef (DMg), Shannon-Wiener (h') y de equidad de Pielou (j'), calculados para cada estación, muestran que la E2 obtuvo los mayores valores promedio para cada índice de DMg (4.6), h' (2.5) y j' (0.7). Esto nos indica que la E2 presenta una mayor biodiversidad con respecto a las E1 y E3, debido a que cada una de estas estaciones se caracterizan por una alta intervención antrópica: en la E1 la presencia de asentamientos subnormales y la presencia de cultivos ilícitos, y en la E3 generada por las diferentes actividades de recreación y presencia de construcciones, lo que afecta, en cierta medida, a la comunidad de macroinvertebrados acuáticos. Sin embargo, no se encontraron diferencias en los valores de h' y j' por estaciones para los macroinvertebrados del río Fragua Chorroso (Tabla 4).

Tabla 3. Diversidad de macroinvertebrados presentes en el río Fragua Chorroso.

Clase	Orden	Familia
Insecta	Plecoptera	Perlidae
		Leptophlebiidae
	Ephemeroptera	Oligoneuriidae
		Baetidae
		Glossosomatidae
		Leptoceridae
		Hydropsychidae
	Trichoptera	Odontoceridae
		Calamoceratidae
		Helicopsychidae
		Philopotamidae
		Hydroptilidae
		Hydrobiosidae
		Diptera
	Blephariceridae	
	Simuliidae	
	Chironomidae	
	Coleoptera	
		Psephenidae
		Hydraenidae
Ptilodactylidae		
Staphylinidae		
Dytiscidae		
Dryopidae		
Hemiptera	Veliidae	
	Naucoridae	
Odonata	Libellulidae	
	Coenagrionidae	
Lepidoptera	Polythoridae	
	Pyralidae	
Megaloptera	Corydalidae	
Crustacea	Decapoda	Trichodactylidae
		Palaemonidae
GAstropoda	Mesogastropoda	Thiaridae
Turbellaria	Tricladida	Planariidae
Arachnoidea	Acari	Hydrachnidae

Tabla 4. Índices de diversidad biológica aplicados a cada estación del río Fragua Chorroso mediante el programa de cálculo de índices de diversidad de Aristizábal.

ÍNDICE	ESTACIÓN		
	E1	E2	E3
Margalef	2.9	4.6	3.2
Shannon-Wiener H'	2.2	2.5	2.2
Equidad de Pielou J'	0.7	0.7	0.7

Índice BMWP/Col

Las familias recolectadas en cada una de las estaciones de muestreo definieron la calidad del agua para las zonas de estudio (E1, E2 y E3). Las (tablas 5, 6 y 7) muestran los puntajes para cada familia encontrada en cada una de las estaciones y el puntaje total BMWP/Col, lo cual indica la calidad del agua al compararla con la tabla de puntuaciones (Madera et al., 2016; Roldan-Pérez, 2003).

Tabla 5. BMWP/Col estación 1 vereda Bosque Alto.

FAMILIAS	PUNTAJE	N.º FAMILIA	TOTAL
Perlidae, Oligoneuriidae, Psephenidae, Odontoceridae, Calamoceratidae,	10	5	50
Leptophlebiidae	9	1	9
Veliidae, Trichodactylidae, Palaemonidae, Helicopsychidae, Leptoceridae	8	5	40
Baetidae, Glossosomatidae, Hydropsychidae	7	3	21
Libellulidae, Elmidae	6	2	12
Pyralidae	5	1	5
Psychodidae	2	1	2
Total		18	
Total BMWP/Col			139

Tabla 6. BMWP/Col estación 2 vereda Bosque Bajo.

FAMILIAS	PUNTAJE	N.º FAMILIA	TOTAL
Perlidae, Blephariceridae, Oligoneuriidae, Psephenidae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae	10	6	60
Leptophlebiidae, Philopotamidae, Dytiscidae	9	3	27
Veliidae, Helicopsychidae, Leptoceridae, Simuliidae, Hydraenidae	8	5	40
Baetidae, Glossosomatidae, Hydropsychidae, Hydroptilidae, Driopyidae, Naucoridae, Psychodidae Planariidae	7	8	56
Corydalidae, Elmidae, Hydrachnidae, Libellulidae, Staphylinidae	6	5	30
Pyralidae, Thiaridae	5	2	10
Chironomidae	2	1	2
Total		29	
Total BMWP/Col			225

Tabla 7. BMWP/Col estación 3 casco urbano del municipio de San José del Fragua.

FAMILIAS	PUNTAJE	N.º FAMILIA	TOTAL
Calamoceratidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Psephenidae, Polythoridae, Ptilodactylidae	10	7	70
Leptophlebiidae, Philopotamidae	9	2	18
Veliidae, Leptoceridae, Hydrobi- osidae	8	3	24
Baetidae, Glossosomatidae, Hydropsychidae, Coenagrionidae, Naucoridae, Planariidae	7	6	42
Corydalidae, Libellulidae, Elmidae	6	3	18
Total		21	
Total BMWP/Col			172

Los resultados del índice BMWP/Col aplicados al río Fragua Chorroso indican que el agua en las tres estaciones se encuentra dentro de la clase I (“Buena calidad”), con un puntaje de 139 E1, 225 E2 y 172 E3 (Tabla 8) (Forero et al., 2013; Gonzales et al., 2013; Restrepo, 2013).

Tabla 8. Resultados BMWP/Col para las estaciones de muestreo.

ESTACIÓN	CLASE	CALIDAD	BMWP/ COL	SIGNIFICADO	COLOR
E1	I	Buena	139	Aguas muy limpias	
E2	I	Buena	225	Aguas muy limpias	
E3	I	Buena	172	Aguas muy limpias	

Tabla 9. Autovalores y autovectores obtenidos en el ACP para las variables ambientales y estaciones de muestreo.

AUTOVALORES			
LAMBDA	VALOR	PROPORCIÓN	PROPORCIÓN ACUMULADA
1	4.73	0.95	0.95
2	0.27	0.05	1.00
3	0.00	0.00	1.00
4	0.00	0.00	1.00
5	0.00	0.00	1.00

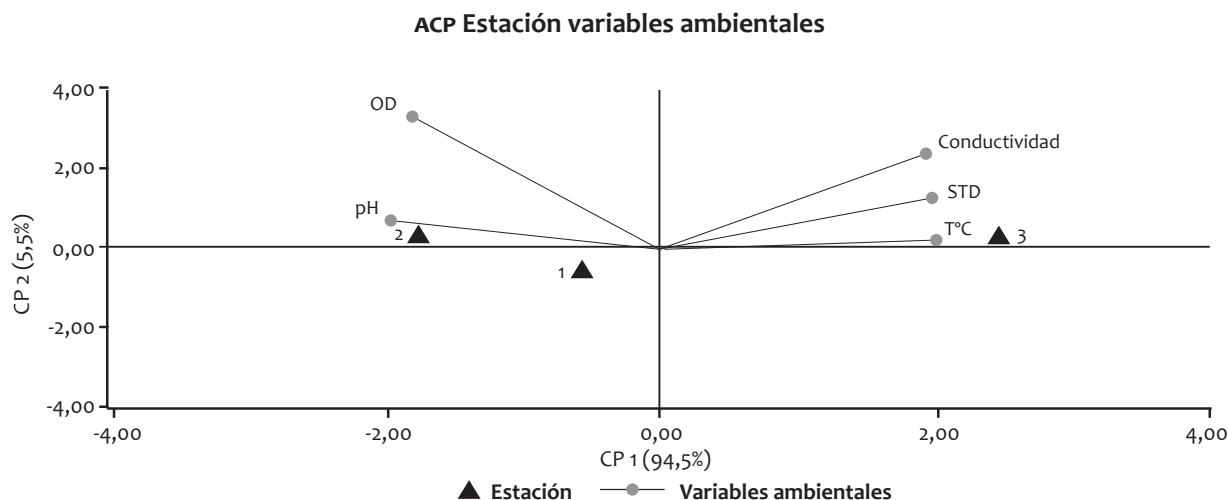
AUTOVECTORES		
VARIABLES	E1	E2
pH	-0.46	0.16
Temperatura	0.46	0.05
Conductividad	0.44	0.55
SDT	0.45	0.29
OD	-0.42	0.77

SDT = sólidos totales disueltos, OD = oxígeno disuelto.

Análisis de componentes principales (variables ambientales vs. estaciones de muestreo)

El ACP realizado a partir de la correlación mostró que las dos primeras coordenadas principales (CP) aportaron el 100% de la variabilidad, y la primera CP presentó raíces características mayores a la unidad, ya que capturó el 94% de la variabilidad total. Al analizar los coeficientes de los vectores asociados a las dos primeras CP se encontró que las variables más importantes, en su orden decreciente, fueron: T°C, pH y SDT para CP1; OD y conductividad para CP2 (Tabla 9).

Figura 3. ACP obtenido con los datos de las variables ambientales y las estaciones de muestreo reportadas en el estudio.



De acuerdo con la (Fig. 3), la primera CP con un aporte del 94.5% de variabilidad separó a las variables ambientales temperatura (T°C) y SDT asociadas fuertemente al extremo positivo de esta componente y a la estación 3 de la variable ambiental de pH, la cual presentó el mayor valor asociado al extremo negativo de dicha componente y a la estación 2. Asimismo, la CP2 con un aporte del 5.5% separó a las variables ambientales OD y conductividad asociadas al extremo positivo de dicha

componente de las otras variables, las cuales presentaron el mayor valor, principalmente, con una correlación cofenética.

CONCLUSIONES |

En general, las estaciones de muestreo presentaron una buena calidad del agua y mostraron características apropiadas tanto a nivel ecológico como fisicoquímico. Estos datos

se corroboraron con los índices BMWP/Col, e indican valores de agua muy limpias para las tres estaciones. Sin embargo, las actividades humanas y productivas que se desarrollan en el área, así como los procesos extractivos de especies vegetales y de material de arrastre que ocurren a lo largo del recorrido del río, podrían desencadenar a largo plazo problemas de disminución del caudal y, a su vez, reducción en la disponibilidad del recurso para los habitantes.

AGRADECIMIENTOS |

A la administración del Parque Nacional Natural Alto Fragua Indi Wasi por permitir la realización de este estudio, y por su ardua colaboración y apoyo en el trabajo realizado.

REFERENCIAS |

- Arango, M. C., Álvarez, L. F., Arango, G. A., Torres, O. E. y Monsalve, A. (2008). Calidad del agua de las quebradas La Cristalina y La Risaralda, San Luis, Antioquia. *Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia*, 9, 121-141.
- Castro, M. G., Castro, M. J., Monroy, D. M. C., Ocampo, C. J. A., Cruz, C. I. y Ramírez, T. J. A. (2015). Los macroinvertebrados como indicadores biológicos de la calidad del agua del río Actopan, Veracruz, México. *Revista Digital del Departamento El Hombre y su Ambiente*, 2(9), 12-19.
- Darrigan, G., Vilches, A., Legarralde, T. y Damborenea, C. (2007). *Guía para el estudio de macroinvertebrados I. Método de colecta y técnicas de fijación*. Buenos Aires: ProBiota, FCNYM, UNLP.
- Daza-Rodríguez, M. y Patiño-Ramírez, D. (2016). *Bioindicación de la calidad del agua del río Subachoque mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos como una integración espacial y temporal* (Trabajo de grado). Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Bogotá, Colombia.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M. y Robledo, C. (2017). InfoStat versión 2017. Argentina: Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Recuperado de www.infostat.com.ar.
- Forero, A. M., Reinoso, G. y Gutiérrez, C. (2013). Evaluación de la calidad del agua del río Opía (Tolima-Colombia) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos. *Revista Caldasia*, 35(2), 371-387.
- Gamboa, M., Reyes, R. y Arrivillaga, J. (2008). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 48(2), 109-120.
- García-Pérez, J., Baquero, S., Díaz, G. y Sarmiento, C. (2013). Estudio de la calidad del agua del río Paguey empleando macroinvertebrados acuáticos. *Revista de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cundinamarca*, 1(1), 1-9.
- Giacometti, J. C. y Bersosa, F. (2006). Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi. *Boletín Técnico 6, Serie Zoológica*, 2, 17-32.
- Gil-Gómez, J. A. (2014). *Determinación de la calidad del agua mediante variables físico químicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río Garagoa* (Tesis de maestría). Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas, Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Universidad de Manizales, Manizales, Colombia.
- Gonzales, M. V., Caicedo, Q. O. y Aguirre, R. N. (2013). Aplicación de los índices de calidad de agua NFS, Dinius y BMWP en la Quebrada la Ayurá, Antioquia-Colombia. *Revista Gestión y ambiente*, 16(1), 97-108.
- Gutiérrez-Fonseca, P. E. (2010). *Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del orden Coleoptera en el Salvador*. San Salvador, El Salvador: Editorial Universitaria UES.
- Hanson, P., Spinger, M. y Ramírez, A. (2010). Capítulo 1 Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista de Biología Tropical*, 58(4), 3-37.
- Madera, L. C., Angulo, L. C., Díaz, L. C. y Rojano, R. (2016). Evaluación de la calidad del agua en algunos puntos afluentes del río Cesar (Colombia) utilizando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de contaminación. *Información Tecnológica*, 27(4), 103-110. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000400011>.
- Martínez-García, N. (2010). *Macroinvertebrados acuáticos como sistema de evaluación del balneario Hurtado, río Guatapurí Valledupar (Cesar)* (Trabajo de grado especialista). Facultad de Ciencias, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Montoya-Grisales S. (2016). *Macroinvertebrados como una herramienta tecnológica para la bioindicación de agua en Colombia* (Trabajo de grado). Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de Medio Ambiente, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Florencia, Colombia.
- Murcia-Ordóñez, B. y Chaves-Moreno, L. C. (2009). Macroinvertebrados acuáticos (clase Insecta) como bioindicadores en la cuenca alta del río Caquetá. En H. B. Zamudio, C. H. Sierra, M. Olalde y M. A. Tarancón (eds.), *Amazonia y Agua Desarrollo sostenible en el siglo XXI* (pp. 119-124). Brasilia, Brasil: Editorial de la Unesco Etxea.
- Polo-Perdomo, L. A. (2016). *Evaluación de la sustentabilidad de agroecosistemas intervenidos con la estrategia "Sistemas Sostenibles para la Conservación" en la microcuenca alta del río San Pedro, zona de amortiguación del Parque Nacional Natural Alto Fragua Indi Wasi* (Trabajo de grado). Facultad de Ingeniería, Universidad de la Amazonia, Florencia, Colombia.
- Ramírez A. (2010). Capítulo 2 Métodos de recolección. *Revista de Biología Tropical*, 58(4), 41-50.
- Resolución 631 De 2015 [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. 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. Marzo 17 de 2015. DO 494986.
- Restrepo, R. (2013). Aplicación de índices fisicoquímicos y biológicos para la determinación de la calidad del agua del río Frío. *Seminario Internacional Calidad del agua: Retos ante los Riesgos Ambientales. Agua 2013. El riesgo en la gestión del agua* (pp. 1-9). Octubre 15 al 18, 2013, Cali, Colombia.
- Rivera, N. R., Encina, F., Mu-oz-Pedreras, A. y Mejías, P. (2004). La calidad de las aguas en los Ríos Cautín e Imperial, IX Región-Chile. *Información Tecnológica*, 15(5):89-101. doi: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642004000500013>.
- Roldán-Pérez G. (1988). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia*. Medellín, Colombia: Fondo para la Protección del Medio Ambiente José Celestino Mutis.
- Roldán-Pérez, G. (2003). *Bioindicación de la calidad de agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP Col*. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.
- Roldán-Pérez, G. (2016). 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*, 40(155), 254-274. doi: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.335>.
- Springer, M., Serrano-Cervantes, L. y Zepeda-Aguilar, A. (2010). *Guía ilustrada para el estudio ecológico de los insectos acuáticos inmaduros del orden Trichoptera en El Salvador*. San Salvador, El Salvador: Editorial Universitaria UES.
- Valcarcel-Rojas, L., Alberro-Macías, N. y Frías-Fonseca, D. (2009). El índice de calidad de agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos. *Revista Electrónica de la Agencia de Medio Ambiente*, 9(16), 1-5.
- Valencia-Escobar, D.M. (2011). *Macroinvertebrados acuáticos epicontinentales y la calidad biológica del agua del río Jordán, Jamundí (Valle del Cauca)* (Trabajo de grado). Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia.
- Vergara, A. (2015). *Políticas públicas de los países amazónicos y cambio climático. Áreas protegidas como estrategias de adaptación*. Visión Amazónica.
- World Wildlife Fund. (2016). *Planeta vivo Informe 2016. Riesgo y resiliencia en una nueva era*. Gland, Suiza: wwf International.