

**Evaluación de la calidad del agua mediante
macroinvertebrados acuáticos y peces como
bioindicadores en la quebrada San Francisco, cantón El
Pangui, Zamora Chinchipe, Ecuador**

**Water quality assessment using aquatic
macroinvertebrates and fish as bioindicators in the San
Francisco stream, El Pangui canton, Zamora Chinchipe,
Ecuador**

Karen Flores-Oviedo¹, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4073-8988>

Marcos Calle-Morán², ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5470-0596>

Carlos Montero-Ortiz³, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9384-5354>

Érika Jiménez-Calle⁴, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7088-2107>

Katherine Visuma-Unkuch⁵, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0628-6690>

Karina Jiménez-Jiménez⁶, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2721-4272>

Tangya Sisalima-Macas⁷, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4525-7937>

Carlos Sarango-Tandazo⁸, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0105-820X>

Carlos Taday-Sánchez⁹, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1376-2297>

Sandra Soria-Re¹⁰, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5480-0869>

Mírela Cordero-Rosales¹¹, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6680-9557>

Diana Castillo-Abad¹², ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4477-3228>

¹Universidad Estatal Amazónica, Sede Académica El Pangui, Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Biología, El Pangui, Zamora Chinchipe, Ecuador, floreskarenvo1995@gmail.com

²Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), Unidad Guaymas, Guaymas, Sonora, México, marcalle02@gmail.com

³Universidad Estatal Amazónica, Matriz Puyo, Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Biología, Puyo, Pastaza, Ecuador, c.monteroo@uea.edu.ec

⁴Universidad Estatal Amazónica, Sede Académica El Pangui, Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Biología, El Pangui, Zamora Chinchipe, Ecuador, eri2000joc@gmail.com

⁵Universidad Estatal Amazónica, Sede Académica El Pangui, Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Biología, El Pangui, Zamora Chinchipe, Ecuador, katherinevisuma74@gmail.com

⁶Universidad Estatal Amazónica, Sede Académica El Pangui, Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Biología, El Pangui, Zamora Chinchipe, Ecuador, karinajuli9@gmail.com

⁷Universidad Técnica Particular de Loja, Colección de Macroinvertebrados, Loja, Ecuador, sisalimatangya@gmail.com

⁸Universidad Técnica Particular de Loja, Departamento de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Biodiversidad de Ecosistemas Tropicales (BIETROP), Loja, Ecuador, ksarango@gmail.com

⁹Universidad Estatal Amazónica, Sede Académica El Pangui, Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Biología, El Pangui, Zamora Chinchipe, Ecuador, tadaycarlos11@gmail.com

¹⁰Universidad Estatal Amazónica, Sede Académica El Pangui, Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Biología, El Pangui, Zamora Chinchipe, Ecuador, ssoria@uea.edu.ec

¹¹Universidad Estatal Amazónica, Sede Académica El Pangui, Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Biología, El Pangui, Zamora Chinchipe, Ecuador, mf.corderor@uea.edu.ec

¹²Universidad Estatal Amazónica, Sede Académica El Pangui, Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Biología, El Pangui, Zamora Chinchipe, Ecuador, da.castilloa@uea.edu.ec

Autor para correspondencia: Marcos D. Calle-Morán, marcalle02@gmail.com

Resumen

Esta investigación analizó la calidad del agua en la quebrada San Francisco, cantón El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe, evaluando los parámetros físicos, químicos y biológicos en dos zonas: la zona 1, como un área prístina, y la zona 2, con intervención antrópica, cada una subdividida en seis tramos de 30 m. Se emplearon macroinvertebrados acuáticos y peces como bioindicadores, determinando el índice de

Shannon (H') para medir el grado de biodiversidad y el de Jaccard para la similitud. Asimismo, estas comunidades biológicas se utilizaron para evaluar la calidad de agua por medio de los índices de calidad de agua (ICA), el índice de *Ephemeroptera*, *Trichoptera*, *Plecoptera* (ETP) y el de *Biological Monitoring Working Party* (BMWP/Col). Se registraron 3 590 macroinvertebrados, distribuidos en nueve órdenes y 25 familias. La zona 1 presentó diversidad media ($H' = 2.27$ bits), mientras que la de la zona 2 fue baja ($H' = 1.73$ bits); la similitud entre ambos sitios fue moderada ($I_j = 0.56$). Con respecto a la ictiofauna, se recolectaron 15 individuos de tres especies. Asimismo, los índices de calidad de agua mostraron condiciones favorables en ambas zonas. La primera indicó valores de ICA = 81 %, ETP = 58 % y BMWP/Col. = 181; mientras que en la segunda fueron de ICA = 80 %, ETP = 73 %, BMWP/Col. = 122, clasificando dicho cuerpo de agua como bueno y limpio. Estos resultados sugieren que las dos zonas de la quebrada mantienen una calidad de agua adecuada y favorable para la biodiversidad local.

Palabras clave: calidad del agua, indicadores ambientales, biodiversidad, animales acuáticos, pez, río, Ecuador.

Abstract

This research analyzed water quality in the San Francisco stream, El Pangui canton, Zamora Chinchipe province, evaluating physical, chemical, and biological parameters in two zones: Zone 1, a pristine area, and Zone 2, an area with human intervention, each subdivided into six 30-meter sections. Aquatic macroinvertebrates and fishes were used as bioindicators, determining the Shannon index (H') to measure the degree of the biodiversity and the Jaccard index for similarity. These biological

communities were also used to assess water quality using the Water Quality Index (WQI), the *Ephemeroptera*, *Trichoptera*, *Plecoptera* (ETP) index, and the Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) index. A total of 3 590 macroinvertebrates were recorded, distributed among 9 orders and 25 families. Zone 1 showed medium diversity ($H' = 2.27$ bits), while Zone 2 showed low diversity ($H' = 1.73$ bits). The similarity between the two areas was moderate ($I_j = 0.56$). Fifteen individuals of three species were collected from the fish fauna. Water quality indices showed favorable conditions in both areas. The first area showed values of ICA = 81 %, ETP = 58 %, and BMWP/Col. = 181, while the second area showed ICA = 80 %, ETP = 73 %, and BMWP/Col. = 122, classifying this water body as good and clean. These results suggest that both areas of the stream maintain adequate water quality, favorable for local biodiversity.

Keywords: water quality, environmental indicators, biodiversity, aquatic animals, fish, rivers, Ecuador.

Recibido: 13/10/2025

Aceptado: 12/02/2026

Publicado *ahead of print*: 04/03/2026

Versión final: 01/07/2026

Introducción

La calidad del agua hace referencia a las condiciones físicas, químicas y biológicas en las que se encuentra un cuerpo de agua en su estado natural, intervenido o después de ser alterado por actividades del hombre (Chang-Gómez, 2009). Esto sirve como indicador para evaluar la salud de

los ecosistemas acuáticos y la disponibilidad de recursos hídricos (Marticorena-Castillo, 2021). Esto se debe a las propiedades fundamentales del agua, como el suministro de nutrientes, minerales y un comportamiento térmico único que lo hace responsable del sistema termorregulador de organismos (Carbajal-Azcona & González-Fernández, 2012). Por ello, es importante conocer el estado en que se encuentra, resaltando la necesidad de establecer parámetros y análisis estadísticos que permitan determinar las condiciones del agua (Pérez-López, 2016). Su conservación es fundamental para la salud humana, el ambiente, desarrollo económico y preservación de la vida acuática (Villena-Chávez, 2018).

Los ecosistemas acuáticos desempeñan un papel fundamental en la biodiversidad, pues proporcionan hábitats a una gran variedad de organismos que, en los últimos años, se han destacado por su importancia como bioindicadores claves para revelar las condiciones ecológicas de un ecosistema (Olarte-Durán & González-Suarez, 2017). La supervivencia de los organismos acuáticos depende de diversos factores, siendo los más esenciales los nutrientes, composición y calidad del agua (Pascual *et al.*, 2021). En particular, los ecosistemas de agua dulce como ríos, quebradas y arroyos son altamente sensibles a modificaciones ambientales, por lo que es crucial evaluar sus condiciones con base en el análisis de diversos parámetros físicos, químicos y biológicos (Caputo-Galarce, 2020), entre los cuales destacan el pH, la turbidez, conductividad eléctrica, concentración de oxígeno disuelto, los niveles de metales y presencia de ciertos organismos bioindicadores (Lozada-López, 2023). Esto permite determinar los impactos en los ecosistemas acuáticos y el grado de contaminación, que han venido en aumento año tras año (Tekman *et al.*, 2022).

Ecuador es uno de los países con una gran diversidad de organismos tanto terrestres como acuáticos debido a que sus ríos se pueden agrupar en ríos más grandes que fluyen hacia el océano Pacífico y el río Amazonas (Vásconez *et al.*, 2019). Sin embargo, también contiene aguas contaminadas, pues el 24 % de la población rural no cuenta o carece de acceso a instalaciones adecuadas para la eliminación de desechos, y el 38 % de los municipios del país no posee infraestructura para el tratamiento de aguas residuales, lo cual provoca que las aguas contaminadas vayan directamente a los ríos, arroyos, quebradas y océanos, afectando la supervivencia de la vida acuática y la salud pública (The Nature Conservancy, 2026).

Conocer el estado del agua de los ecosistemas lóticos y lenticos es fundamental, así como el uso de bioindicadores, que permiten evaluar y determinar su calidad y detectar cambios de la contaminación de los ecosistemas. Entre los bioindicadores más utilizados en los estudios de aguas continentales se encuentran bacterias, protozoos, fitoplancton, micrófitos, macroinvertebrados acuáticos y peces (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Orellana, 2018). Sin embargo, los macroinvertebrados bentónicos son considerados los más útiles debido a su tamaño visible (> 0.5 mm), y su presencia en cualquier tipo de materia orgánica e inorgánica (Hanson *et al.*, 2010). Además, presentan vulnerabilidad a los cambios o alteraciones del agua, lo que permite determinar su estado de salud ambiental de manera más sencilla y efectiva (Arroyo & Encalada, 2009). Este hecho ha permitido desarrollar diversos índices de calidad de agua basados en la presencia y ausencia de dichos bioindicadores, como el índice del Grupo de Trabajo de Monitoreo Biológico (BMWP, por sus siglas en inglés) y el índice ETP (*Ephemeroptera*, *Trichoptera* y *Plecoptera*) (Buenaño *et al.*, 2018).

En los últimos años se han realizado numerosos estudios para evaluar la calidad del agua en distintas regiones del Ecuador, como en la Amazonía, por ejemplo, o en las provincias de Sucumbíos, Napo, Orellana, Pastaza, Morona Santiago y Zamora Chinchipe (Terneus *et al.*, 2012; Olaya-Valdiviezo, 2013; Rodríguez-Badillo *et al.*, 2016; Carrasco-Baquero *et al.*, 2020; Pérez *et al.*, 2021; Isizan-Calderón, 2023; Vásquez-Venegas *et al.*, 2023; Ochoa-Tamay, 2024; Padilla-Calderón, 2024); en la sierra para las provincias de Carchi, Imbabura, Santo Domingo de los Tsáchilas, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar, Chimborazo, Cañar, Azuay y Loja (Arce-Moncada & Leiva-Calderón, 2009; Almeida-Betancourt, 2014; Monar *et al.*, 2016; Pauta *et al.*, 2019; Quinteros-Carabalí *et al.*, 2019; Sanguil-Medina, 2022; Rodríguez-Ayala *et al.*, 2022; Garrido-Membreño, 2023; García-Angulo & Moncayo-Molina, 2024; Moreno-Samaniego & Sagñay-Lema, 2024); y en las provincias de Esmeraldas, Manabí, Los Ríos, Guayas, Santa Elena y El Oro en la región de la Costa (Rodríguez, 2013; Baque-Mite *et al.*, 2016; Cobos-Recalde, 2019; Loor-Vera, 2019; Ganchozo-Cedeño & Raju-Maddela, 2022; Álvarez-Pico & Sánchez-Arízaga, 2023; Franco-Suárez, 2023; Muicela-Palomeque, 2023).

La importancia de la quebrada San Francisco en la parroquia Pachicutza, cantón El Pangui, en la provincia de Zamora Chinchipe, se debe a que es utilizada para abastecer a la comunidad de El Padmi, cantón Yantzaza, en la misma provincia, y se emplea en actividades de agricultura y acuicultura. Sin embargo, no se conocen estudios realizados sobre la calidad del agua, de ahí que la información sea escasa a pesar del incremento de zonas agrícolas, pastoreo y urbanización; esto impide establecer medidas concretas de protección y uso sostenible del agua (Zari-Arévalo, 2014). Tal situación evidencia la necesidad urgente de realizar una evaluación de la calidad del agua en la quebrada San

Francisco, que permita identificar los principales contaminantes, determinar su origen y proponer estrategias para su conservación y manejo sostenible. Abordar esta problemática es crucial para garantizar la salud pública, la protección de los ecosistemas acuáticos y la sostenibilidad ambiental del cantón El Pangui.

En esta investigación, la hipótesis que se planteó fue que la calidad del agua en la zona prístina era diferente que la de la zona intervenida (influenciada por actividades antrópicas) en la quebrada San Francisco. Así, el objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad del agua en dicha quebrada mediante parámetros físicos, químicos y biológicos en dos zonas: una intervenida por procesos de urbanización y otra natural, con el fin de diagnosticar su estado actual y conocer sus diferencias. El alcance de esta investigación consistió en ayudar a establecer una línea base de investigación para estudios que permitan un manejo adecuado para su manejo y conservación de las especies y ecosistemas.

Materiales y métodos

Área de estudio

Este estudio se realizó en la quebrada San Francisco (03° 42' 44" S, 78° 38' 01" W), ubicada en el barrio San Roque, perteneciente a la parroquia Pachicutza, cantón El Pangui, en Zamora Chinchipe (Figura 1). Esta área presenta ecosistemas húmedos tropicales con alta biodiversidad y una temperatura que varía entre los 20 y 24 °C. La quebrada forma parte de la cuenca del río Zamora y se caracteriza por su relieve irregular, contando con altitudes que fluctúan desde los 800 hasta los 1 200

m.s.n.m. (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón El Pangui, 2020).

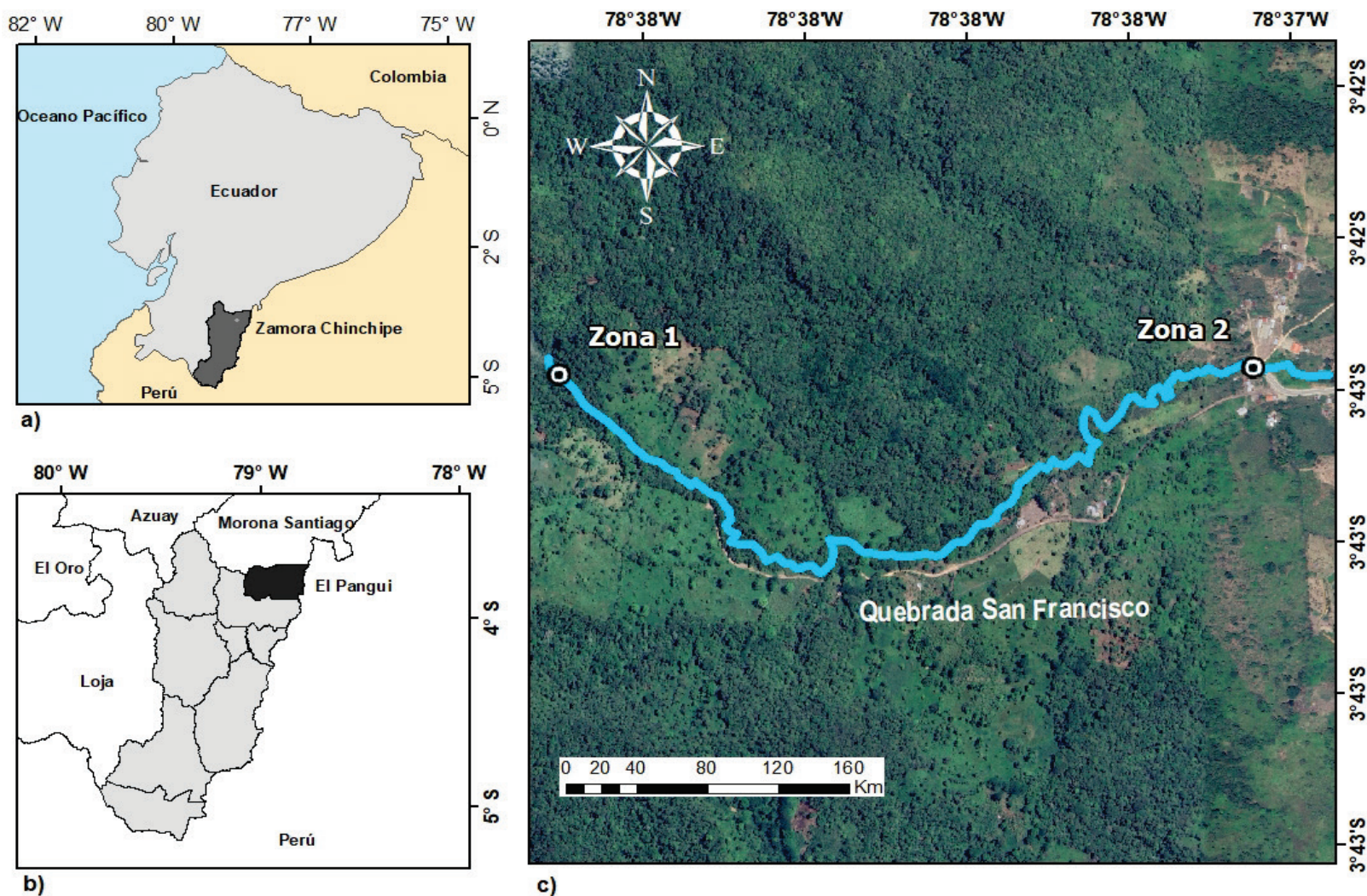


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio de la microcuenca San Francisco en la parroquia Pachicutza: a) Provincia de Zamora Chinchipe en la Amazónica ecuatoriana; b) cantón El Pangui; c) sitios de muestreo en la quebrada San Francisco.

La quebrada San Francisco es una microcuenca de mucha importancia, pues se emplea para el abastecimiento y consumo de agua para los pobladores de la zona y de El Padmi, por su cercanía con las limitaciones del cantón Yantzaza; además, su vegetación es diversa y abundante. El clima es cálido y húmedo, con precipitaciones anuales que varían entre 1 750 y 2 050 m.s.n.m.; presenta temperaturas estables, que van de 24 a 26 °C, y un régimen estacional de lluvias, de febrero a julio, con un periodo de mayor intensidad desde febrero hasta marzo; la estación seca va de agosto a enero (modificado de Loja-Lituma, 2011).

Para esta investigación se consideraron dos zonas de muestreo. La zona 1, que estaba cerca del nacimiento de la cuenca, con mínimas intervenciones antrópicas, presencia de arroyos que se conectan a la quebrada, rodeada de vegetación arbórea, muy próxima al estanque utilizado para la distribución de agua a los habitantes de la zona y las personas del barrio El Padmi, ubicada a 2 km del siguiente sitio de muestreo. La zona 2 se encuentra en la parte principal del barrio San Francisco, aquí se evidenciaron cultivos, casas y un puente por encima de la quebrada, poca vegetación arbórea y más áreas destinadas a la agricultura, residuos de basura, desechos de granjas porcícolas; el agua de esta zona está destinada al abastecimiento de varias granjas piscícolas y consumo para la ganadería.

Fase de campo

Para los muestreos en la quebrada, se realizó un muestro estratificado. Este diseño implicó dividir el área de estudio en sectores, para poder realizar análisis en diferentes áreas (Ñauñay-Quito, 2010). Los muestreos se efectuaron en un periodo de seis meses (abril-septiembre de 2024),

abarcando las épocas de lluvias y la seca, durante el cual se llevó a cabo la caracterización física, química y biológica de la quebrada. El periodo se eligió con base en la facilidad de acceso al sitio de estudio, luego de que pasó la época de máximas precipitaciones. Los transectos se realizaron en un área de 180 m de largo x 6 m de ancho, misma que fue subdividida en seis tramos de 30 m de largo cada una. En total, se muestreó un área de 1 080 m². Cada tramo fue muestreado en dos ocasiones distintas después de tres meses de haber tomado la primera muestra.

Parámetros físicos

Los parámetros físicos contemplados para este trabajo fueron el caudal del agua y la velocidad de corriente del agua. El caudal de la quebrada (Q) se estimó por medio de su volumen (m³), por lo que se midió el largo, ancho y la profundidad promedio (m), así como el tiempo (s) en un sector específico del mismo. La fórmula empleada fue:

$$Q = \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}}$$

La velocidad del agua (V) se midió con el método de flotador, al ser un método sencillo y rápido para dicho fin (Chamorro, 2011). En cada muestreo se colocó un flotador (esfera de espumaflex) aguas abajo cada 30 m, cronometrando el tiempo que tardaba en recorrer esa distancia (m). Se utilizó la siguiente formula:

$$V = \frac{\text{Distancia}}{\text{Tiempo}}$$

Parámetros químicos

Las muestras de agua se recolectaron, una por cada zona, utilizando frascos de plástico y ámbar previamente esterilizados. Cada una de ellas se etiquetó y conservó en una hielera para su posterior traslado al laboratorio. Se analizaron ocho parámetros esenciales para garantizar y determinar el estado del cuerpo de agua: coliformes fecales, demanda bioquímica de oxígeno en cinco días, nitratos, fosfatos, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales y pH. Se analizaron en el Laboratorio de Análisis Químico de la Universidad Estatal Amazónica, en el Puyo, provincia de Pastaza, Ecuador.

Los parámetros físicos y químicos del agua se compararon con los criterios de calidad para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, estuarinas y marinas, planteados en las normas de calidad ambiental y de descargas de efluentes del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador (MAATE, 2015).

Parámetros biológicos

- **Macroinvertebrados:** la recolección en ambas zonas se realizó con la toma de seis muestras, conformada por cinco réplicas. Los muestreos se llevaron a cabo en un horario similar entre las 8 y 10 a. m.; se hizo una búsqueda activa de 40 minutos utilizando la red tipo D, la cual está compuesta por un mango, un anillo de metal en forma de D y una malla de 500 μm . Esta red se colocó a contracorriente, aproximadamente a 1 m de la orilla por 2 min (Ramírez, 2010). Los muestreos fueron simultáneos bajo las

mismas condiciones climáticas. El sustrato recolectado se vertió en un recipiente para separar los organismos del resto de material con la ayuda de pinzas. Luego, se depositaron en frascos con alcohol etílico al 70 % para poder trasladarlos al laboratorio para su posterior identificación.

- **Peces:** para la captura de la ictiofauna se utilizó una trampa o red tipo sombrilla, estructura similar al de un paraguas, compuesto por varillas que forman una semiesfera cuando se abre. Está confeccionada por una malla fina, con un tamaño de ojo de entre 5 y 10 mm, y tiene seis orificios distribuidos en su estructura. Su funcionamiento se basa en colocarla en el fondo del río con el sebo en su interior por un día (Blacio, 2009). Las trampas se pusieron en cada uno de los tramos en las dos ocasiones en que se muestrearon los sitios. Los sebos empleados fueron pan y camarón eviscerado. Los peces capturados se colocaron en una hielera con hielo para su traslado e identificación en el laboratorio.

Fase de laboratorio

Identificación de macroinvertebrados acuáticos

El manejo de macroinvertebrados consistió en una limpieza y recambio de alcohol al 70 %. Los organismos se identificaron hasta nivel de familia con base en las guías y claves taxonómicas de Roldán-Pérez (1996), Domínguez y Fernández (2009), y González *et al.* (2019). Asimismo, se empleó un estereoscopio marca Zeiss. La base de datos se estructuró en una matriz organizada por órdenes y familias de macroinvertebrados acuáticos, así como por zonas y meses de muestreo.

Identificación de peces

La identificación de peces fue de acuerdo con guías taxonómicas que incluyeron las de Nugra *et al.* (2018), Brandon (2019), y Jiménez-Prado y Valdiviezo-Rivera (2021). Su base de datos fue por orden, familia, género y especies; se colocó el número de individuos encontrados en cada zona.

Fase de análisis de datos

Abundancia de macroinvertebrados acuáticos y peces

La abundancia absoluta de macroinvertebrados acuáticos y peces se refiere al número total de individuos de una especie en un área determinada (modificado de Cruz-Flores *et al.*, 2017). Para calcularla, se usó la siguiente ecuación:

$$N = \sum ni$$

Donde:

N = abundancia absoluta

ni = número de individuos de las especies en cada muestra

Análisis estadísticos

Con el fin de verificar si existían diferencias en la composición y abundancia de los macroinvertebrados acuáticos y peces, primero se comprobó si había normalidad de los datos con la prueba de Kolmogorov-Smirnov, la de Bartlett se utilizó para evaluar la homogeneidad de varianza (Rivera-Soler *et al.*, 2022). Además, se empleó la prueba de Mann-Whitney, un equivalente no paramétrico del análisis de varianza (ANOVA), para comparar dos grupos independientes y determinar si existían diferencias significativas entre las zonas muestreadas (Ortega *et al.*, 2021).

Los programas informáticos empleados fueron los siguientes: para la creación de mapas, el *ArcGis* v. 10.8 (ArcGIS Resources, 2024), *Minitab* v. 19.0, utilizado para el análisis estadístico como las pruebas significativas (TCM, 2022); los índices de diversidad de Shannon y similitud de Jaccard se calcularon por la matriz de abundancia de macroinvertebrados y peces, utilizando el *software Past* v. 4.03 (Hammer *et al.*, 2001).

Índice de Shannon (H')

Este índice se considera para medir la biodiversidad específica de un ecosistema, ya que toma en cuenta tanto la riqueza de especies como la equidad en su distribución. Los valores que registra este índice van de 0 a 5, donde 0 indica una biodiversidad baja y 5 refleja una biodiversidad alta (Pérez *et al.*, 2021). Su cálculo se hizo mediante la siguiente fórmula:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i * \log_2 p_i$$

Donde:

p_i = abundancia relativa

$\log_2$ = logaritmo con base 2

La interpretación de los valores del índice de Shannon se basa en que los valores de 0.00 a 1.99 bits indican una biodiversidad baja; de 2.00 a 2.99 bits sugieren una biodiversidad moderada, y de 3.00 bits en adelante sostienen que es alta (Shannon & Weaver, 1949; Ferriol-Molina & Merle-Farinós, 2012).

Índice de Jaccard (I_j)

Es una medida estadística empleada para medir el grado de semejanza entre dos conjuntos. Este índice varía entre 0 y 1, donde 0 indica que no hay similitud entre dos comunidades y 1 indica similitud completa (Moreno, 2001). Se utilizó el siguiente algoritmo:

$$I_j = \frac{c}{a + b - c}$$

Donde:

a = especies presentes en la zona 1

b = especies de la zona 2

c = especies comunes en las dos zonas

Índice de calidad del agua (ICA)

Para la determinación del ICA se utilizaron algunas variables físico-químicas y se determinó con la siguiente ecuación:

$$ICA = \sum q_i * w_i$$

Donde:

q_i = subíndice del parámetro i

w_i = peso relativo o peso de importancia para el subíndice i

Este índice emplea un rango de valores porcentuales para su interpretación (Tabla 1).

Tabla 1. Escala de clasificación del índice de calidad del agua (ICA).

Rango (%)	Calidad del agua
85-100	No contaminada
70-84	Aceptable
50-69	Poco contaminada
25-49	Contaminada
0-24	Altamente contaminada

Fuente: Montoya *et al.* (1997).

Índices *Ephemeroptera*, *Trichoptera*, *Plecoptera* (ETP) y del Grupo de Trabajo de Monitoreo Biológico (BMWP/Col.)

Para evaluar la calidad de agua se consideró la presencia y abundancia de macroinvertebrados según los índices ETP y BMWP (por sus siglas en inglés), adaptado para Colombia (Carrera-Reyes & Fierro-Peralbo, 2001; Roldán-Pérez, 2003). El índice ETP se calculó dividiendo la cantidad de individuos pertenecientes a los órdenes *Ephemeroptera*, *Trichoptera* y *Plecoptera* entre el total de individuos colectados, y luego se multiplicó por 100 %. Los valores más altos de este índice indican aguas más limpias y con mayor oxigenación según Carrera-Reyes y Fierro-Peralbo (2001) (Tabla 2).

Tabla 2. Rangos de criterios para la evaluación de la calidad biológica del agua, según el índice de *Ephemeroptera*, *Trichoptera* y *Plecoptera* (ETP).

Rangos de EPT (%)	Calidad del agua
75-100	Muy buena
50-74	Buena
25-49	Regular
0-24	Mala

Fuente: Carrera-Reyes y Fierro-Peralbo (2001).

El índice de BMWP/Col. se emplea para el seguimiento de la salud de ecosistemas dulceacuícolas lóticos, pues permite una evaluación rápida y acertada, ya que utiliza la presencia y abundancia de macroinvertebrados bentónicos hasta nivel de familia, como indicadores

del estado de un cuerpo de agua, basándose en su sensibilidad a la contaminación (Machado *et al.*, 2018). En este índice da el valor de 1 a 10 a cada familia de acuerdo con su tolerancia a la contaminación (Roldán-Pérez, 2003) (Tabla 3). El valor de BMWP es el resultado de la suma total de los puntajes de la familia: un puntaje menor a 10 corresponde a una calidad del agua muy crítica, y puntajes iguales o mayores que 100 representan calidad del agua buena (Roldán-Pérez, 2003) (Tabla 4).

Tabla 3. Valores del índice del Grupo de Trabajo de Monitoreo Biológico (BMWP/Col.) basados en la tolerancia de los macroinvertebrados acuáticos para evaluar la calidad biológica del agua.

Familias	Puntaje
<i>Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae, Ameletidae, Brachycentridae y Calamoceratidae</i>	10
<i>Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae y Euthyplociidae</i>	9
<i>Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae y Gomphidae</i>	8
<i>Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae y Dryopidae</i>	7
<i>Aeshnidae, Ancyliidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae y Lutrochidae</i>	6
<i>Belostomatidae, Gelastocoridae, Hydropsychidae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbidae y Curculionidae</i>	5
<i>Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolichopodidae y Sphaeriidae</i>	4
<i>Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae y Dytiscidae</i>	3
<i>Culicidae, Chironomidae, Muscidae y Sciomyzidae</i>	2
<i>Tubificidae</i>	1

Fuente: Roldán-Pérez (2003).

Tabla 4. Clasificación de la calidad del agua y valores asignados según el índice BMWP/Col.

Clase	Calidad	BMWP/Col.	Significado	Color
I	Buena	101-120 y > 150	Aguas muy limpias	Azul
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy crítica	< 15	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Fuente: Roldán-Pérez (2003).

Resultados

Parámetros físicos

Se determinó que ambas zonas presentaron una diferencia mínima en el caudal y velocidad del agua. La zona 1 registró un caudal de 0.5 m³/s y velocidad de 0.4 m/s, mayores que los de la zona 2, donde se observaron caudales de 0.4 m³/s y velocidad de 0.2 m/s.

Parámetros químicos

Con base en los parámetros químicos obtenidos de las dos zonas de muestreo, se constató que los valores del pH, demanda bioquímica de oxígeno, coliformes fecales, oxígeno disuelto y nitratos se encontraban dentro de los rangos admisibles según los criterios de la calidad para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, estuarinas y marinas del MAE (Tabla 5).

Tabla 5. Valores de los parámetros químicos del agua del área de muestreo en la quebrada San Francisco en Pachicutza.

Parámetros	Unidad	Zona 1	Zona 2
Potencial de hidrógeno (pH)	pH	7.4	7.5
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg/l	46.5	53.8
Turbidez	NTU	6.6	4.3
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	mg/l	1.4	1.6
Nitratos	mg/l	0.6	0.6
Fosfato	mg/l	0.4	0.3
Coliformes fecales	(UFC)/100 ml	103	65
Oxígeno disuelto (OD)	mg/l	8.4	8.7
	%	99.6	106.1

Parámetros biológicos

Las pruebas estadísticas realizadas para macroinvertebrados indicaron una distribución no normal ($p = 0.01$), hubo igualdad de varianzas ($p = 0.64$) y no existieron diferencias significativas entre ambas zonas ($p = 0.69$). Para los peces se registró normalidad ($p = 0.15$), las varianzas fueron homocedásticas ($p = 0.65$) y tampoco se evidenciaron diferencias significativas entre los sitios estudiados ($p = 0.90$).

Comunidades de macroinvertebrados acuáticos

En la quebrada San Francisco se registraron 3 590 individuos, 25 familias y 9 órdenes de macroinvertebrados acuáticos. La zona de muestreo con

mayor abundancia fue la zona 2, con 2 029 organismos; mientras que en la zona 1 se registraron 1 561 especímenes. Las familias de macroinvertebrados acuáticos más abundantes fueron *Hydropsychidae* ($n = 1\ 062$), seguido de *Elmidae* (540) y *Perlidae* (425), las demás familias se encontraron en un rango menor a 400 organismos (Tabla 6, Figura 2).

Tabla 6. Macroinvertebrados acuáticos recolectados en ambas zonas de la quebrada San Francisco.

Órdenes	Familias	Zona 1	Zona 2
<i>Acari</i>	<i>Limnocharidae</i>	1	0
<i>Coleoptera</i>	<i>Elmidae</i>	393	147
	<i>Curculionidae</i>	1	0
	<i>Dytiscidae</i>	2	0
	<i>Dryopidae</i>	3	0
	<i>Psephenidae</i>	9	34
	<i>Ptilodactylidae</i>	100	174
<i>Diptera</i>	<i>Limoniidae</i>	13	34
	<i>Tabanidae</i>	7	2
<i>Ephemeroptera</i>	<i>Euthyplociidae</i>	27	0
	<i>Leptophlebiidae</i>	6	12
	<i>Leptohyphidae</i>	105	102
	<i>Oligoneuriidae</i>	173	0
<i>Hemiptera</i>	<i>Veliidae</i>	0	6
	<i>Naucoridae</i>	15	15
<i>Megaloptera</i>	<i>Corydalidae</i>	65	77

Órdenes	Familias	Zona 1	Zona 2
<i>Odonata</i>	<i>Gomphidae</i>	9	40
	<i>Libellulidae</i>	6	10
	<i>Coenagrionidae</i>	0	4
	<i>Polythoridae</i>	36	0
<i>Plecoptera</i>	<i>Perlidae</i>	198	227
<i>Trichoptera</i>	<i>Leptoceridae</i>	180	83
	<i>Limnephilidae</i>	2	0
	<i>Calamoceratidae</i>	15	0
	<i>Hydropsychidae</i>	195	1062
Número de individuos por zonas		1 561	2 029
Número total de macroinvertebrados acuáticos		3 590	

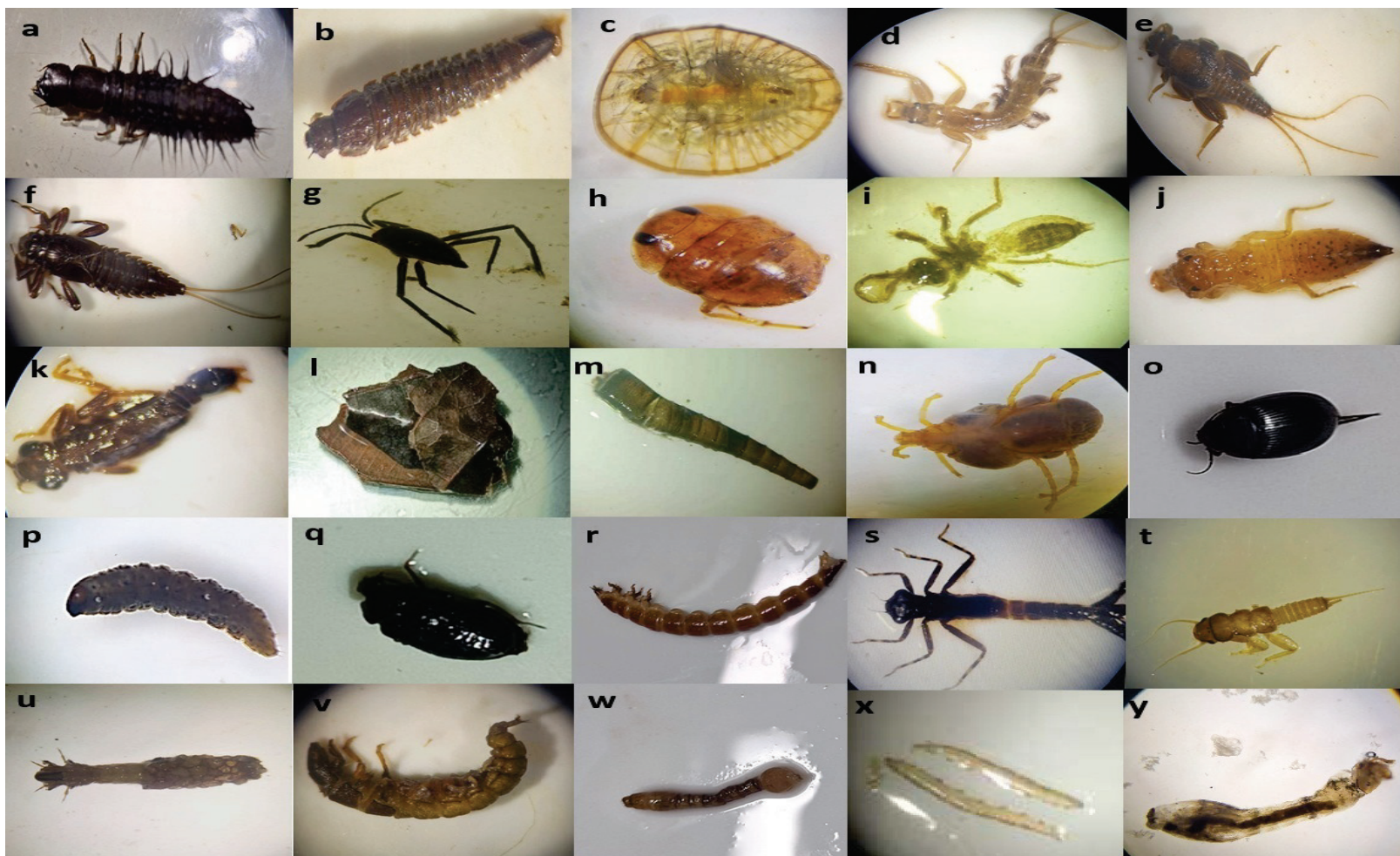


Figura 2. Familias de macroinvertebrados acuáticos hallados en la quebrada San Francisco, El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe. (a) *Corydalidae*, (b) *Elmidae*, (c) *Psephenidae*, (d) *Euthyplociidae*, (e) *Leptohyphidae*, (f) *Oligoneuriidae*, (g) *Veliidae*, (h) *Naucoridae*, (i) *Libellulidae*, (j) *Gomphidae*, (k) *Polythoridae*, (l) *Calamoceratidae*, (m) *Leptoceridae*, (n) *Limnocharidae*, (o) *Dytiscidae*, (p) *Curculionidae*, (q) *Dryopidae*, (r) *Ptilodactylidae*, (s) *Caenagrionidae*, (t) *Perlidae*, (u) *Limnephilidae*, (v) *Hydropsychidae*, (w,x) *Limoniidae*, (y) *Simuliidae*.

Comunidades de peces

Dentro de los peces analizados ($n = 15$), se observó la dominancia del bagrecito, *Astroblepus cyclopus*, con un total de 11 individuos. Esta especie estuvo presente en ambas zonas de muestreo, pero con mayor predominancia en la zona 1, seguida de la guaija, *Lebiasina elongata*, con tres organismos y el corroncho, *Astroblepus mindoensis*, con un ejemplar (Figura 3).

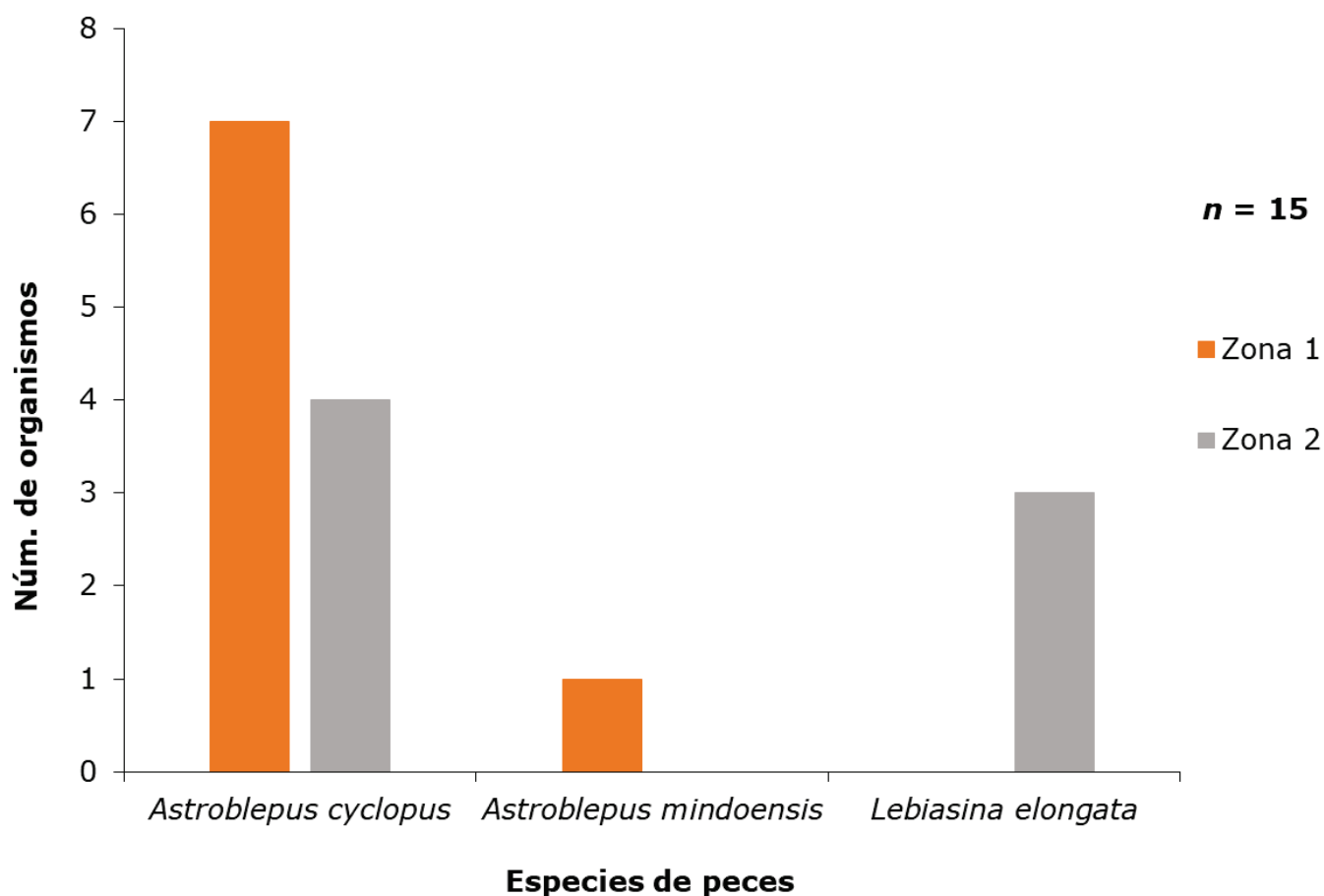


Figura 3. Abundancia de los peces colectados en las dos zonas de muestreo.

Índice de Shannon

Para los macroinvertebrados acuáticos, el valor obtenido de la zona 1 fue de $H' = 2.27$ bits, lo que significa que cuenta con una biodiversidad media; por el contrario, la zona 2, al contar con un $H' = 1.73$ bits, se consideró con una biodiversidad baja. Mientras que, para los peces, las dos zonas, al contar con valores de $H' = 0.38$ bits (zona 1) y $H' = 0.68$ bits (zona 2), presentaron una biodiversidad baja.

Índice de Jaccard

La similitud encontrada para macroinvertebrados acuáticos entre las dos zonas de la quebrada san Francisco era de $I_J = 0.56$ (56 %), lo que representa una similitud media. Esto significa que alrededor de la mitad de las comunidades, en cuanto a la riqueza específica y abundancia, eran compartidas en ambos sitios. Para los peces entre la zona 1 y zona 2, el grado de similitud fue bajo, dado que su semejanza era del $I_J = 0.33$, equivalente al 33 %. Esto indica que solo un tercio de las comunidades eran compartidas entre las dos localidades.

Evaluación de la calidad de agua

La calidad del agua evaluada a través de los tres índices (Tabla 7) indicó que la zona 1 registró valores más altos en el índice ICA (81 %) y en el BWMP/Col. (181), que los de la zona 2; ello sugiere una calidad de agua aceptable y muy limpia, respectivamente. Sin embargo, con respecto al índice ETP, el de la zona 2 fue mayor (72 %) que el de la zona 1; a pesar de esto, ambos tuvieron una buena calidad de agua. No obstante, estas

pequeñas diferencias, ambas zonas se clasificaron en la categoría de agua muy limpia, de buena calidad y aceptables (Tabla 7).

Tabla 7. Análisis de la calidad de agua bajo los índices de calidad de agua (ICA); *Ephemeroptera*, *Trichoptera* y *Plecoptera* (ETP).

Índice	Zona 1	Zona 2	Interpretación
ICA	81 %	80 %	Aceptable
ETP	58 %	73 %	Buena
BWMP/Col.	181	122	Aguas muy limpias

Discusión

Parámetros físicos

Dentro de los parámetros físicos, las variaciones del caudal y velocidad de la corriente del agua indican que la zona 1 presentaba valores ligeramente superiores de caudal y velocidad con respecto a la zona 2. Este comportamiento puede estar relacionado con las características morfológicas del cauce, pues estudios en Hefei, China, afirman que la morfología de los ríos influye de manera significativa en el caudal y velocidad del flujo (Zhang *et al.*, 2019). En este contexto, la zona 1 podría presentar una forma más regular, favoreciendo un flujo más eficiente. Por el contrario, la zona 2 podría estar influenciada por la presencia de parches de vegetación. De la misma manera, un estudio en Bushehr, Irán, explica que el flujo del arrastre y la rugosidad generada por las plantas aumenta la resistencia hidráulica, al reducir la velocidad del agua y limitar el cauce (Naderi *et al.*, 2022). Además, factores como la pendiente y

geometría del cuerpo hídrico influyen en la velocidad del flujo y el caudal transportado de acuerdo con las relaciones establecidas en la ecuación de Manning (Leopold & Maddock, 1953). Asimismo, no se descarta la intervención de otros factores, como condiciones climáticas, fenómenos temporales, aporte hídrico y sesgos instrumentales (Day *et al.*, 2025). Por consiguiente, aunque las diferencias entre las zonas muestreadas son mínimas en el presente estudio, los resultados sugieren que la variabilidad en los límites del cauce, junto con la morfología del lecho, modifican el flujo del agua por medio de patrones hidrodinámicos (Brown & Pasternack, 2014). Además, es necesario considerar que los impactos del cambio de caudal se manifiestan en amplios grupos taxonómicos, como plantas ribereñas, invertebrados y peces (Bunn & Arthington, 2002).

Parámetros químicos

Los resultados obtenidos en las dos zonas de muestreo evidencian que, en general, la calidad del agua es buena, y cumple con los criterios del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica de Ecuador para la protección de la vida acuática y silvestre (MAATE, 2015). Los valores de pH en ambas zonas reflejan condiciones químicas neutrales y estables, asociadas con la alcalinidad total (CAT), lo que concuerda con un estudio en Medea, Argelia, donde se menciona que una adecuada CAT mantiene el pH cercano a la neutralidad y regula las variaciones químicas (Tahraoui *et al.*, 2025). Por otro lado, la baja concentración de sólidos disueltos totales y turbidez en las zonas de estudio sugieren una escasa presencia de partículas en suspensión, relacionada con cobertura vegetal de la cuenca, que actúa como barrera natural, y favorece la estabilidad fisicoquímica del agua. (Chapman *et al.*, 1996; Wetzel, 2001; Allan,

2004). En cuanto a los valores de coliformes fecales (103 ml) de la zona 1, sugieren contaminación antrópica; mientras que la zona 2 está dentro de los límites permisibles (< 100 ml), según la normativa de calidad ambiental y descarga de efluentes al recurso agua (Nugra-Rocano *et al.*, 2023). Ello se puede deber a que con el tiempo este factor puede disminuir por la variabilidad temporal, dilución y sedimentación (Ramos-Espinosa *et al.*, 2007). En conjunto, los resultados de la presente investigación reflejan un sistema acuático con buena capacidad y esto ocurre por la capacidad natural de la autorregulación, donde los niveles de nutrientes y oxígeno permiten sostener la biota, aunque las ligeras variaciones en coliformes, nitritos y nitratos requieren monitoreo continuo para su futura gestión, como se observa en un estudio del río Nakdong, Corea del Sur (Seo *et al.*, 2019).

Parámetros biológicos

Los macroinvertebrados acuáticos demostraron ser indicadores efectivos para evaluar la calidad del agua, siendo las familias *Hydropsychidae*, *Elmidae* y *Perlidae* las predominantes en ambas zonas. Su presencia resaltó la estabilidad del ecosistema, dado que ciertas especies tienen tolerancia moderada a la contaminación (Escobar-Gutiérrez & Montoya-Moreno, 2019). Asimismo, la abundancia de estas familias se atribuye, probablemente, a la capacidad de resistir bajos grados de contaminación; por ello se pueden encontrar en aguas limpias y poco contaminadas (Arroyo & Encalada, 2009). No obstante, desde una perspectiva ecológica, la composición y abundancia de macroinvertebrados acuáticos puede atribuirse a la disponibilidad de recursos alimenticios y microhábitats asociados con el tipo de sustrato y con la dinámica del flujo (Dávila-

Recinos *et al.*, 2019). Estos factores, sumados a la coexistencia de sustratos rocosos, hojarasca y material orgánico fino, generan una alta heterogeneidad ambiental, lo que favorece el establecimiento de distintos grupos funcionales, como filtradores, raspadores y depredadores (Merritt *et al.*, 2019). En este contexto, la dominancia de familias con tolerancia moderada halladas en el presente trabajo sugiere un escenario de perturbación leve, donde las condiciones ambientales no son lo suficientemente adversas como para excluir a los taxones sensibles, pero sí permiten una mayor proliferación de especies oportunistas. Asimismo, la conectividad entre tramos facilita la recolonización continua de macroinvertebrados acuáticos, reduciendo los efectos locales de la intervención humana (Resh *et al.*, 1995). Por tanto, la estructura comunitaria observada refleja un equilibrio dinámico entre procesos naturales y presiones antrópicas de baja intensidad.

Los datos obtenidos mostraron que, dentro de las especies de peces analizados, *A. cyclopus* fue la especie dominante, con 11 de 15 individuos recolectados, presentes en ambas zonas del muestreo, pero con mayor abundancia en la zona 1. Tal dominancia puede explicarse por su adaptabilidad a las condiciones fisicoquímicas, como lo demuestra un estudio realizado en el río Quindío, Colombia, que menciona su habilidad de habituarse a distintas dietas, recursos y comportamientos, según las condiciones ambientales en que se encuentre la especie (Román-Valencia, 2001). No obstante, dado que la mayor abundancia de *A. cyclopus* se encuentra en la zona 1, sugiere que la especie busca ciertas características ecológicas, como velocidad de flujo, sustrato y disponibilidad de recursos (Villacís-Orozco, 2019). Por el contrario, la zona 2 es un área más concurrida, lo que implica un mayor grado de perturbación, como lo evidencian estudios realizados en otras provincias,

como Manabí, donde se encontró que los peces prefieren habitar zonas con menor alteración ambiental e impacto humano (Araújo *et al.*, 2018). Esta especie de bagre se considera un bioindicador debido a su sensibilidad a contaminantes y la facilidad para evaluar efectos tóxicos acumulados en sus tejidos (Chovanec *et al.*, 2003). Con base en lo expuesto anteriormente, estos resultados sugieren que las condiciones ambientales, como también las interacciones humanas, determinan en gran medida la estructura de las comunidades de peces en los sistemas acuáticos (Liu *et al.*, 2025).

Evaluación de la calidad de agua

La evaluación de la calidad de agua en la quebrada san Francisco fue óptima y no presentó diferencias significativas entre la zona natural e intervenida, determinando en ambas áreas una buena calidad de agua. Esto se podría atribuir al proceso de autopurificación que se da a través de dilución y sedimentación, pues pueden reducir la concentración de contaminantes disueltos y suspender partículas, lo que permite que el grado de contaminación disminuya (Anawa & Chowdhury, 2020). Por otra parte, el estudio realizado en Puno, Perú, menciona que actividades urbanas pueden superar la capacidad natural de autodepuración del ecosistema fluvial, por lo que el deterioro del agua va a mantenerse estable o aumentar con el tiempo (Ticona-Ortega, 2025). Esto ha permitido destacar que, en la zona intervenida, los impactos antrópicos actuales no han superado la capacidad de carga del ecosistema, permitiendo que los procesos de autorregulación mantengan condiciones ambientales favorables (Bunn & Arthington, 2002). De la misma manera, de acuerdo a Greenpeace (2022), los ríos, quebradas y lagunas tienen la

capacidad natural de autodepuración y autorregeneración, lo cual significa que los ecosistemas acuáticos poseen mecanismos naturales que disminuyen las cargas contaminantes. No obstante, esta situación debe interpretarse con cautela, ya que incrementos futuros en el uso del suelo, descargas de residuos o extracción de agua podrían alterar el equilibrio observado. En ecosistemas lóticos tropicales, los cambios en la calidad del agua suelen manifestarse de forma gradual, siendo los organismos bioindicadores los primeros en responder a estas alteraciones (Bonada *et al.*, 2006).

Conclusiones

La evaluación de calidad de agua en una zona intervenida y otra en condiciones naturales mediante el uso de bioindicadores (macroinvertebrados acuáticos y peces), y los índices de ICA, ETP y BMWP mostraron que ambas zonas presentaron agua limpia, en buen estado y apta para la supervivencia de diversas especies, a pesar de la intervención antrópica en la zona 2. La circulación continua del agua en la quebrada (sistema lótico) permite un recambio constante de las masas de agua, lo que evita la acumulación de contaminantes y permite mantener condiciones óptimas en su calidad.

Las comunidades de los macroinvertebrados acuáticos y peces no presentaron diferencias significativas entre ambas zonas; esto indicó una composición de organismos similar en ambos entornos. Ello sugiere que las actividades antrópicas de la zona 2 no han generado impactos suficientemente fuertes en las comunidades biológicas evaluadas, lo que refleja una capacidad de resiliencia del ecosistema frente a la intervención humana.

A pesar de que la zona intervenida se encontraba expuesta a presiones derivadas de actividades como la agricultura, el asentamiento humano y ganadería, los resultados obtenidos demostraron que estos impactos no han generado, hasta el momento, un deterioro significativo de la calidad del agua. Esto sugiere una adecuada capacidad de resiliencia del ecosistema acuático local o un nivel de intervención aún moderado. Por otro lado, la zona natural mostró una estructura biológica acorde con ambientes de baja alteración y resalta su importancia para la conservación de la biodiversidad acuática en la región.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a las autoridades de la Universidad Estatal Amazónica, Sede Académica Zamora Chinchipe, por permitirnos el uso de los laboratorios para la identificación de los macroinvertebrados acuáticos. Asimismo, por el análisis de los parámetros químicos empleados en este trabajo. Esta investigación proviene del trabajo de titulación como requisito previo para la obtención del título profesional de bióloga de la primera autora, Karen Flores-Oviedo.

Referencias

- Allan, J. D. (2004). Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35, 257-284.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.120202.110122>

- Almeida-Betancourt, L. (2014). *Una revisión de la evaluación de la calidad de agua de los ríos de la provincia de Imbabura* (tesis de pregrado). Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador. https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/8370/1/Almeida_Betancourt_Lucio_Antonio.pdf
- Álvarez-Pico, M., & Sánchez-Arízaga, W. (2023). Evaluación de la calidad de agua del río Casacay de la provincia de El Oro. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 5(1), 1-10. <https://actaoceanografica.inocar.mil.ec/index.php/raop/article/view/63>
- Anawa, H., & Chowdhury, R. (2020). Remediation of polluted river water by biological, chemical, ecological and engineering processes. *Sustainability*, 12(17), 7017. <https://doi.org/10.3390/su12177017>
- Araújo, C. V. M., Griffith, D. M., Vera-Vera, V., Vargas-Jentzsch, P., Cervera, L., Nieto-Ariza, B., Salvatierra, D., Erazo, S., Jaramillo, R., Ramos, L. A., Moreira-Santos, M., & Ribeiro, R. (2018). A novel approach to assessing environmental disturbance based on habitat selection by zebrafish as a model organism. *Science of the Total Environment*, 619-620, 906-915. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.170>
- Arce-Moncada, M., & Leiva-Calderón, M. (2009). *Determinación de la calidad de agua de los ríos de la ciudad de Loja y diseños de líneas generales de acción para su recuperación y manejo* (tesis de pregrado). Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador. <https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/474/3/Tesis%20Maria%20Fernanda%20Arce%20Moncada.pdf>

- ArcGIS Resources. (2024). *¿Qué es ArcGIS?*
<https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
- Arroyo, C., & Encalada, A. (2009). Evaluación de la calidad de agua a través de macroinvertebrados acuáticos bentónicos e índices biológicos en ríos tropicales en el bosque de neblina montano. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 1(1).
<https://doi.org/10.18272/aci.v1i1.4>
- Baque-Mite, R., Simba-Ochoa, L., González-Osorio, B., Suatunce, P., Díaz-Ocampo, E., & Cadme-Arevalo, L. (2016). Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI*, 9(20), 109-117.
<https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol9iss20.2016pp109-117p>
- Blacio, E. (2009). *Capítulo 2. Redes y aparejos. Taller náutico* [diapositiva PowerPoint]. Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL).
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6346/1/TNP%20Cap2A%20Redes.pdf>
- Bonada, N., Prat, N., Resh, V. H., & Statzner, B. (2006). Developments in aquatic insect biomonitoring: A comparative analysis of recent approaches. *Annual Review of Entomology*, 51, 495-523.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151124>
- Brandon, L. (2019). *Fishes of the Nangaritza River Cordillera del Cóndor, Ecuador*.
<https://science.fieldmuseum.org/fieldguides/guides/guide/1064>

- Brown, R. A., & Pasternack, G. B. (2014). Hydrologic and topographic variability modulate channel change in mountain rivers. *Journal of Hydrology*, 510, 551-564.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.12.048>
- Buenaño, M., Vásquez, C., Zurita-Vásquez, H., Parra, G., & Pérez, R. (2018). Macroinvertebrados béntonicos como indicadores de calidad de agua en la cuenca de Pachanlica, provincia de Tungurahua, Ecuador. *Intropica*, 13(2), 41-49.
<https://doi.org/10.21676/23897864.2405>
- Bunn, S. E., & Arthington, A. H. (2002). Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management*, 30(4), 492-507.
<https://doi.org/10.1007/s00267-002-2737-0>
- Caputo-Galarce, L. (2020). *Protección de los ecosistemas acuáticos ante la presión de la crisis económica que viene*. Centro de Investigación Periodística. <https://www.ciperchile.cl/2020/07/03/proteccion-de-los-ecosistemas-acuaticos-ante-la-presion-de-la-crisis-economica-que-viene/>
- Carbajal-Azcona, Á., & González-Fernández, M. (2012). Propiedades y funciones biológicas del agua. En: Vaquero, M. P., & Toxqui, L. (eds.). *Agua para la salud. Pasado, presente y futuro* (pp. 33-45). CSIC. <https://www.ucm.es/data/cont/docs/458-2013-07-24-Carbajal-Gonzalez-2012-ISBN-978-84-00-09572-7.pdf>

- Carrasco-Baquero, J., Caballero-Serrano, V., Cabrera-Hugo, J., Lema-Palaquibay, L., & Carrasco-López, D. (2020). Macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en sitios de interés turístico de la provincia de Pastaza, Amazonía Ecuatoriana. *Polo del Conocimiento*, 5(1), 858-879. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/2021>
- Carrera-Reyes, C., & Fierro-Peralbo, K. (2001). *Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. EcoCiencia. <https://ecociencia.org/manual-de-monitoreo-los-macroinvertebrados-acuaticos-como-indicadores-de-la-calidad-del-agua/>
- Chamorro, G. I. (2011). *Guía de hidrometría: estimación del caudal por el método de flotadores*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. https://www.senamhi.gob.pe/usr/cdc/AFORO_X_FLOTADORES.pdf?fbclid=IwAR14oXNtNxN0q7_7VMARKzdfDDSyG80ihooFVTW9AKS6z44UdVtUMx56ACw
- Chang-Gómez, J. V. (2009). *Calidad del agua* [diapositiva de PowerPoint]. <https://dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6145/2/Calidad%20de%20Agua%20Unidad%201%2C2%2C3.pdf>
- Chapman, D. V., World Health Organization, UNESCO, & United Nations Environment Programme. (1996). *Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring* (2nd ed.). E y FN Spon.

- Chovanec, A., Hofer, R., & Schiemer, F. (2003). Fish as bioindicators. In: Markert, B. A., Breure, A. M., & Zechmeister, H. G. (eds.). *Bioindicators and biomonitoring. Principles, concepts and applications* (pp. 639-676). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0927-5215\(03\)80148-0](https://doi.org/10.1016/S0927-5215(03)80148-0)
- Cobos-Recalde, L. (2019). *Evaluación de calidad de agua en el punto de captación de agua potable del río Lelia, cantón Santo Domingo* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16709>
- Cruz-Flores, D. D., Martínez-Borrego, D., Fontenla, J. L., & Mancina, C. A. (2017). Inventarios y estimaciones de la biodiversidad. En: Mancina, C. A., & Cruz, D. D. (eds.). *Diversidad biológica de Cuba: métodos de inventario, monitoreo y colecciones biológicas* (pp. 24-63). Editorial AMA.
- Dávila-Recinos, G., Ortiz, J. R., & Reyes-Morales, F. (2019). Efecto del microhábitat sobre la abundancia y riqueza específica de los macroinvertebrados bentónicos en dos ríos tropicales de montaña, Guatemala. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 6(1), 7-21. <https://doi.org/10.36829/63CTS.v6i1.657>
- Day, N. K., Longley, P. C., Wise, D. R., & McDonnell, M. (2025). Effects of climate on temporal variability in streamflow and salinity in the Upper Colorado River Basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 61, 102672. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102672>
- Domínguez, E., & Fernández, H. R. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y Biología*. Fundación Miguel Lillo.

- Escobar-Gutiérrez, A., & Montoya-Moreno, Y. (2019). Los macroinvertebrados acuáticos y la calidad biológica del agua en una quebrada andina Antioquia-Colombia. *Revista Politécnica*, 15(29), 65-81. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v15n29a6>
- Ferriol-Molina, M., & Merle-Farinós, H. B. (2012). *Los componentes alfa, beta y gamma de la biodiversidad. Aplicación al estudio de comunidades vegetales*. Universidad Politécnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/bitstreams/9553ac39-8526-488f-b4b7-d5d1ca4abce9/download>
- Franco-Suárez, J. (2023). *Evaluación de la calidad de agua de uso doméstico en la parroquia Baba provincia de Los Ríos* (tesis de pregrado). Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/FRANCO%20SU%C3%81REZ%20JEAN%20CARLOS.pdf>
- Ganchozo-Cedeño, D., & Raju-Maddela, N. (2022). Evaluación de calidad del agua de los ríos Canuto y Carrizal en época seca, Manabí, Ecuador. *Polo del Conocimiento*, 7(9). <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/4589>
- García-Angulo, A., & Moncayo-Molina, L. (2024). *Análisis estadístico multivariado en la evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cañar, Ecuador* (tesis de posgrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/62040>

- Garrido-Membreño, J. (2023). *Evaluación de la calidad del agua de la microcuenca del río Chinambí, provincia del Carchi, Ecuador* (tesis de pregrado). Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Tegucigalpa, Honduras.
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/70c4e39d-69af-4e10-9ea0-00e1c2b11042/content>
- Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Orellana. (2018). *Manual de monitoreo comunitario de la calidad del agua con bioindicadores* [archivo PDF]. Prefectura de Orellana. <https://esf-cat.org/wp-content/uploads/2018/04/BIO.pdf>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón El Pangui. (2020). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial y formulación del plan del uso y gestión de suelos PUGS del cantón El Pangui*. Alcaldía de El Pangui. <https://elpangui.gob.ec/wp-content/uploads/2022/08/PDOT-EL-PANGUI-FINAL-1.pdf>
- González, H., Crespo, E. A., & Hampel, H. (2019). *Guía rápida para la identificación de macroinvertebrados de los ríos altoandinos del cantón Cuenca*. Alcaldía de Cuenca. <https://geo.etapa.net.ec/monitoreoecohidrologico/files/docs/GUIA%20MACROINVERTEBRADOS.pdf>
- Greenpeace. (2022). Amenaza invisible: la contaminación del agua por nitrato. <https://es.greenpeace.org/es/wp-content/uploads/sites/3/2022/05/informe-aguas-LR.pdf>

- Hammer, O., Harper, D., & Ryan, P. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontología Electrónica*, 4(1), Artículo 4. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- Hanson, P., Springer, S., & Ramírez, A. (2010). Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista de Biología Tropical*, 58(S4), 3-37. <https://doi.org/10.15517/rbt.v58i4.20080>
- Isizan-Calderon, R. (2023). *Evaluación de la calidad del agua de la planta modular compacta de agua potable parroquia El Dorado en la provincia de Orellana por medio de los índices de calidad del agua* (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Orellana, El Coca, Ecuador. <https://dspace.esPOCH.edu.ec/items/4eca3ad1-373e-437e-a4d6-6a47373ffce7>
- Jiménez-Prado, P., & Valdiviezo-Rivera, J. (2021). *Biodiversidad de peces en el Ecuador (Serie Especial de Ictiología Ecuatoriana I)*. Red Ecuatoriana de ictiología, Pontificada Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas, Universidad Tecnológica Indoamérica, Instituto Nacional de Biodiversidad. http://inabio.biodiversidad.gob.ec/wp-content/uploads/2021/06/LIBRO-DIVERSIDAD-DE-PECES-EN-ECUADOR121_compressed.pdf
- Leopold, L. B., & Maddock, T. (1953). *The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications* (U.S. Geological Survey Professional Paper 252). U.S. Government Printing Office. <https://doi.org/10.3133/pp252>

- Liu, J., Xiong, S., Li, P., Liu, Y., Wang, Y., Liu, K., & Wang, J. (2025). Fish community structure and diversity in the Ningxia section of the main stream of the Yellow River in China. *PeerJ*, 13, e20228. <https://doi.org/10.7717/peerj.20228>
- Loja-Lituma, M. (2011). *Estudio hidrológico, diseño del alcantarillado pluvial y corrección hidrológica de las quebradas que atraviesan la cabecera parroquial de Pachicutza, cantón El Pangui* (tesis de pregrado). Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador. https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/678/3/UTPL_Loja_Lituma_Maricela_Andreina_628X508.pdf
- Loor-Vera, R. (2019). *Evaluación de la calidad del agua del estero La Caracas, cantón El Empalme, provincia del Guayas* (tesis de pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador. <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/abbd1b03-f7f1-4486-b9e1-eda7d2500b27/content>
- Lozada-López, J. (2023). *Estudio de los criterios fisicoquímicos, microbiológicos y metales pesados en agua para consumo humano en la comunidad de Misquilli, en la parroquia de Santa Rosa, provincia de Tungurahua* (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/60dd6f94-3cda-4892-915d-0c31f43ec1da/content>

- MAATE, Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2015). *Acuerdo Ministerial N.º 097-A: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua* (Anexo 1, Libro VI, Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria). <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>
- Machado, V., Granda, R., & Endara, A. Análisis de macroinvertebrados bentónicos e índices biológicos para evaluar la calidad del agua del río Sardinas, Chocó Andino Ecuatoriano. *Enfoque UTE*, 9(4), 154-167. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n4.369>
- Marticorena-Castillo, B. (2021). *Calidad del agua: salud de los ecosistemas y salud humana*. Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (Concytec).
- Merritt, R. W., Cummins, K. W., & Berg, M. B. (2019). *An introduction to the aquatic insects of North America* (5th ed.). Kendall/Hunt Publishing.
- Monar, N., González, M., Cruz, E., González, V., Chávez, L., Fierro, S., & Saltos, R. (2016). Calidad de agua de la microcuenca del río illangama cantón Guaranda, provincia Bolívar-Ecuador. *Revista de Investigación Talentos*, 3(1), 42-51. <https://talentos.ueb.edu.ec/index.php/talentos/article/view/68>
- Montoya, H. A., Contreras, C. S., & García, V. M. R. (1997). *Estudio integral de la calidad de agua en el estado de Jalisco*. Comisión Nacional del Agua.
- Moreno, C. A. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. MyT-Manuales y Tesis SEA (Vol. 1). Sociedad Entomológica Aragonesa. <http://entomologia.rediris.es/sea/manytes/metodos.pdf>

- Moreno-Samaniego, M., & Sagñay-Lema, S. (2024). Calidad del agua en Airón, Chimborazo, Ecuador: análisis físico-químico y microbiológico para consumo humano, evaluación de impacto en salud pública. *CSSN Revista Científica Digital. La Ciencia al Servicio de la Salud y Nutrición*, 15(1), 15-27.
<https://doi.org/10.47187/cssn.Vol15.Iss1.268>
- Muicela-Palomeque, J. I. (2023). *Análisis de la calidad de agua de tres playas: Ballenita, La Caleta y San Lorenzo, provincia de Santa Elena-Ecuador* (tesis de pregrado). Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad, Ecuador.
<https://repositorio.upse.edu.ec/items/e650ad32-a925-4c9d-8611-c2d1948432e3>
- Naderi, M., Afzalimehr, H., Dehghan, A., Darban, N., Nazari-Sharabian, M. y Karakouzian, M. (2022). Field study of three-parameter flow resistance model in rivers with vegetation patch. *Fluids*, 7(8), 284.
<https://doi.org/10.3390/fluids7080284>
- Nugra, F., Abad, D. y Zárate, E. (2018). *Guía de Peces del Alto Nangaritza*. Universidad del Azuay. <https://doi.org/10.33324/ceuazuay.37>
- Nugra-Rocano, W. M., Arias-Patiño, L. N., Torres-Segarra, S. M. y Baculima-Suárez, J. A. (2023). Análisis fisicoquímico y microbiológico del agua de riego en San Joaquín-Cuenca. *Revista Alfa*, 7(20), 299-308.
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i20.216>

Ñauñay-Quito, J. (2010). *Dotación real de agua potable en edificios de instituciones públicas de la ciudad de Quito, sector Centro-Norte, La Mariscal* (tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4588/1/CD-4209.pdf>

Ochoa-Tamay, A. (2024). *Evaluación de la calidad del agua del río Zamora Huayco mediante modelación matemática* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador. https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/28729/1/AndersonJordy_OchoaTamay.pdf

Olarte-Durán, A., & González-Suarez, D. (2017). Determinación del tratamiento y la calidad de agua utilizando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores. *Dinámica Ambiental*, 2, 9-25. <https://hdl.handle.net/10901/20320>

Olaya-Valdiviezo, V. E. (2013). *Evaluación de la calidad de agua de la microcuenca Cayamatza del cantón el Pangui, a través del uso de bioindicadores* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador. <https://dspace.unl.edu.ec/items/4e39577d-e80e-4261-92b3-048b524ed46e>

Ortega, P., Ochoa, S., & Molina, A. (2021). Pruebas no paramétricas. *Evidencias en Pediatría*, 17(37).

- Padilla-Calderón, T. (2024). *Evaluación de la calidad de agua del río Sardinas de la parroquia Sardinas, ubicada en el cantón Chaco, provincia de Napo, mediante la identificación de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores* (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/23490>
- Pascual, M., Barral, M., Poca, M., Pessacg, N., García-Silva, L., Albariño, R., & Romeo, M. (2021). Ecosistemas acuáticos continentales y sus servicios: enfoques y escenarios de aplicación en el mundo real. *Ecología Austral*, 32, 195-212. <https://doi.org/10.25260/EA.22.32.1.1.1290>
- Pauta, G., Velasco, M., Gutiérrez, D., Vázquez, G., Rivera, S., Morales, O., & Abril, A. (2019). Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *Maskana*, 10(2), 76-88. <https://doi.org/10.18537/mskn.10.02.08>
- Pérez, O., Méndez, P., & Cazorla, X. (2021). Diagnóstico de la calidad del agua del río Jurumbaino mediante macroinvertebrados como bioindicadores, Macas, Morona Santiago. *Polo del Conocimiento*, 6(9), 259-281. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/3024>
- Pérez-López, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 29(3). <https://doi.org/10.18845/tm.v29i3.2884>

- Quinteros-Carabalí, J., Gómez-García, J., Solano, M., Llumiquinga, G., Burgos, C., & Carrera-Villacrés, D. (2019). Evaluación de la calidad de agua para riego y aprovechamiento del recurso hídrico de la quebrada Togllahuayco. *Siembra*, 6(2), 46-57. <https://doi.org/10.29166/siembra.v6i2.1641>
- Ramírez, A. (2010). Métodos de recolección. *Revista de Biología Tropical*, 58(4), 41-50. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442010000800002
- Ramos-Espinosa, M., Rodríguez-Sánchez, L., & Martínez-Cruz, P. (2007). Uso de macrofitas acuáticas en el tratamiento de aguas para el cultivo de maíz y sorgo. *Hidrobiológica*, 17(1), 7-15. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972007000400002
- Resh, V. H., Norris, R. H., & Barbour, M. T. (1995). Design and implementation of rapid assessment approaches for water resource monitoring using benthic macroinvertebrates. *Australian Journal of Ecology*, 20(1), 108-121. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1995.tb00525.x>
- Rivera-Soler, L., Daza-Ramírez, D., & Torres, C. (2022). Influencia de la granulometría, forma de pila y parámetros hidrológicos en la socavación. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 32(2), 27-42. <https://doi.org/10.18359/rcin.5257>

- Rodríguez, A. (2013). Caracterización y evaluación de la calidad del agua de la bahía de Jaramijó, provincia de Manabí, durante el año 2008. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 18(1), 49-57. <https://www.aquadocs.org/bitstreams/0402eb58-e1c2-4256-b112-7766ce7d00bb/viewer?itemid=a9ab97ed-f43f-4e90-985b-a086721e729a>
- Rodríguez-Ayala, S., Jaramillo-Castro, A., Zurita-Calle, L., Valdiviezo-Aguilar, A., & Choloquina, C. (2022). Evaluación de la calidad del agua de riego proveniente de la acequia Tilipulo Enríquez-Cotopaxi mediante la relación de absorción de sodio (RAS). *Revista Politécnica*, 49(2), 55-64. <https://doi.org/10.33333/rp.vol49n2.06>
- Rodríguez-Badillo, L., Ríos-Guayasamín, P., Espinosa-Chico, M., Cedeño-Loja, P., & Jiménez-Ortiz, G. (2016). Caracterización de la calidad de agua mediante macroinvertebrados bentónicos en el río Puyo, en la Amazonía Ecuatoriana. *Hidrobiológica*, 26(3), 497-507. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2016v26n3/Rodriguez>
- Roldán-Peréz, G. (1996). *Guía para el estudio de macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia*. Universidad de Antioquia. <https://ianas.org/wp-content/uploads/2025/05/wbp13.pdf>
- Roldán-Pérez, G. (2003). *Bioindicación de la calidad de agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP/Col*. Universidad de Antioquia. <https://books.google.com.co/books?id=ZEjgIKZTF2UC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

- Román-Valencia, C. (2001). Ecología trófica y reproductiva de *Trichomycterus caliense* y *Astroblepus cyclopus* (Pisces: Siluriformes) en el río Quindio, Alto Cauca, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 49(2), 657-666. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442001000200025
- Sanguil-Medina, B. S. (2022). *Evaluación de la calidad del agua mediante el índice de calidad de agua ICA-NSF del río Quero, cantón Quero* (tesis de posgrado). Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador. <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4580>
- Seo, M., Lee, H., & Kim, Y. (2019). Relationship between coliform bacteria and water quality factors at weir stations in the Nakdong River, South Korea. *Water*, 11(6), 1171. <https://doi.org/10.3390/w11061171>
- Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). The mathematical theory of communication. The University of Illinois Press. https://pure.mpg.de/pubman/item/item_2383164_3/component/file_2383163/Shannon_Weaver_1949_Mathematical.pdf
- Tahraoui, H., Bouallouche, R., Madi, K., Benkouachi, O. R., Boudraa, R., Belkacemi, H., Lekmine, S., Moussa, H., Touzout, N., Ola, M. S., Triki, Z., Zamouche, M., Kebir, M., Nasrallah, N., Assadi, A., Benguerba, Y., Zhang, J., & Amrane, A. (2025). Modeling total alkalinity in aquatic ecosystems by decision trees: Anticipation of pH stability and identification of main contributors. *Water (Switzerland)*, 17(20), 2939. <https://doi.org/10.3390/w17202939>

- TCM. (2022). *Minitab: ¿qué es y para qué sirve?*
<https://www.tcmetrologia.com/blog/minitab-que-es-y-para-que-sirve/#:~:text=MINITAB%20es%20un%20software%20estad%C3%ADstico,en%20el%20proceso%20de%20producci%C3%B3n>
- Tekman, M., Walther, B., Peter, C., Gutow, L., & Bergmann, M. (2022). *Impacts of plastic pollution in the oceans on marine species, biodiversity and ecosystems*. WWF Germany
<https://doi.org/10.5281/zenodo.5898684>
- Terneus, E., Hernández, K., & Racines, M. J. (2012). Evaluación ecológica del río Lliquino a través de macroinvertebrados acuáticos, Pastaza-Ecuador. *Revista de Ciencias*, 16, 31-45.
<https://doi.org/10.25100/rc.v16i0.501>
- The Nature Conservancy. (2026). *Ecuador, política de aguas residuales. Coalición para impulsar políticas de aguas residuales en Ecuador*.
<https://reefresilience.org/es/case-studies/ecuador-wastewater-policy/#:~:text=El%20desaf%C3%ADoytext=Adicionalmente%2C%20el%2038.1%20por%20ciento,millones%20de%20ni%C3%B1os%20al%20a%C3%B1o>
- Ticona-Ortega, A. (2025). *Variación de la calidad del agua en el río Lampa por vertimiento de aguas residuales de la P.T.A.R. del distrito Lampa-Puno* (tesis de pregrado). Universidad Privada San Carlos, Puno, Perú.
<https://repositorio.upsc.edu.pe/handle/20.500.14891/1764>
- Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., & Ortiz, L. (2019). *Cuencas hidrográficas*. Universidad Politécnica Salesiana.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19038/1/Cuencas%20hidrogr%C3%A1ficas.pdf>

- Vásquez-Venegas, N., Soria-Noroña, L., & Chacha-Coles, A. (2023). Evaluación de calidad del agua en dos puntos de muestreo del río Blanco a través de indicadores biológicos (macroinvertebrados), ubicado en el cantón Lago Agrio, provincia de Sucumbíos. *Polo del Conocimiento*, 8(3), 705-722. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/5331>
- Villacís-Orozco D. A. (2019). *Distribución espacial de la Preñadilla (astroblepus cyclopus) en la cuenca alta del río Pumacunchi, provincia de Cotopaxi* (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6658>
- Villena-Chávez, J. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(2), 304-308. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3719>
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and river ecosystems* (3rd ed.). Elsevier.
- Zari-Arévalo, M. J. (2014). *Diseño de sistemas de conservación de áreas protegidas para el cantón El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe* (tesis de pregrado). Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador. <https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/10612/1/Zari%20Arevalo%20Mayra%20Judith.pdf>
- Zhang, L., Yuan, B., Yin, X., & Zhao, Y. (2019). The influence of channel morphological changes on environmental flow requirements in urban rivers. *Water*, 11(9), 1800. <https://doi.org/10.3390/w11091800>