



Doi: <https://doi.org/10.70577/ASCE/12.32/2023>

Recibido: 2023-04-25

Aceptado: 2023-05-20

Publicado: 2023-06-15

Evaluación de la calidad de agua por medio de macroinvertebrados en tres sitios de visita de la laguna Magtayan-Parque Nacional Sangay

Evaluation of water quality using macroinvertebrates at three visiting sites of the Magtayan Lagoon-Parque Nacional Sangay

Autor:

María T. Quigla Lara

Recursos Naturales Renovables

<https://orcid.org/0009-0005-2934-0775>

teresaquigla@gmail.com

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo-Universidad

Riobamba – Ecuador

Cómo citar:

Quigla Lara, M. T. (2023). Evaluación de la calidad de agua por medio de macroinvertebrados en tres sitios de visita de la laguna Magtayan-Parque Nacional Sangay. ASCE, 2(2), 12–33. <https://doi.org/10.70577/ASCE/12.32/2023>



Resumen

La laguna Magtayan localizada en el sector Ozogoche, cantón Alausí, provincia de Chimborazo, al ser una zona turística y reservorio de agua dulce, se encontró sometida a problemas de contaminación, tales como la quema de pajonal y presencia de fecas de camélidos, lo cual cambió y deterioro la calidad de agua de la laguna. El objetivo de este trabajo fue determinar la calidad de agua de la laguna, por medio de macroinvertebrados, con la finalidad de establecer su condición y proponer medidas de conservación. El trabajo se dividió en dos fases, campo (colecta de macroinvertebrados y recolección de desechos) y de laboratorio (análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua e identificación de macroinvertebrados), para determinar la calidad se empleó el índice de diversidad de Shannon-Weaver, dominancia de Simpson, riqueza de Margalef, similitud de Jaccard y Sorensen y los índices BMWP/Col, ASPT, ABI, y EPT, para calidad de agua, en los tres puntos de muestreo (7A1-7A2-7A3), por medio de los índices bióticos, se determinó familias de Chironomidae, Hyalellidae, Glossiphoniidae y Dugesiidae como las más abundantes en los tres puntos de ambos meses, dando como resultado una calidad de agua “mala”, “dudosa”, “critica”, y “aceptable”. En base a los desechos de las tres clases (orgánico, inorgánico y flotante) la mayoría se encontraron en el 7A1, por medio de los análisis de las variables, se determinó la relación del material flotante con familias resistentes a la materia orgánica siendo estas indicativas de agua contaminada.

Palabras clave: Magtayan; Calidad de agua; Bioindicadores; Macroinvertebrados; Lenticó



Abstract

The Magtayan Lagoon, located in the Ozogoché sector, Alausí Canton, Chimborazo Province, is a tourist area and freshwater reservoir that has been subjected to contamination problems. These issues include the burning of grasslands and the presence of camelid feces, which have altered and deteriorated the lagoon's water quality. The aim of this study was to determine the water quality of the lagoon using macroinvertebrates to assess its condition and propose conservation measures.

The work was divided into two phases: fieldwork (collection of macroinvertebrates and waste) and laboratory analysis (evaluation of physical, chemical, and microbiological parameters of the water, and identification of macroinvertebrates). To assess the water quality, indices such as the Shannon-Weaver Diversity Index, Simpson's Dominance, Margalef's Richness, Jaccard and Sorensen's Similarity Indices, as well as BMWP/Col, ASPT, ABI, and EPT biotic indices, were employed across three sampling points (7A1-7A2-7A3). Using these biotic indices, families like Chironomidae, Hyalellidae, Glossiphoniidae, and Dugesidae were identified as the most abundant across all three points during both months, yielding water quality assessments of "poor," "questionable," "critical," and "acceptable."

Regarding waste in three categories (organic, inorganic, and floating), most were found at point 7A1. The analysis of variables established a relationship between floating waste and families resistant to organic matter, indicating contaminated water.

Keywords: Magtayan; Water Quality; Bioindicators; Macroinvertebrates; Lentic.



Introducción

Los lagos y lagunas están entre las principales fuentes de provisión de agua dulce, capaces de otorgar servicios ambientales, tales como los de abastecimiento, por medio del suministro de agua y energía hidroeléctrica; de regulación capaces de capturar CO₂, controlar la erosión e inundaciones; de soporte tales como ser hábitat de un sinnúmero de especies, reciclaje de nutrientes, regular la temperatura, (Bonifaz, 2022, pp. 1-2); y culturales como fuente de inspiración estética, espiritual, por medio de actividades recreativas y de turismo para diversas comunidades, (Avendaño, et al., 2020 pp. 69-70). Y que con la acción antropogénica desmedida estos servicios se van perdiendo, generando así un desequilibrio en los ecosistemas.

Los sistemas lacustres se ven afectados principalmente por la acción antropogénica con las diferentes actividades, las cuales generan degradación de estos, como es el caso de la agricultura que al ser una actividad mundial dominante usa el 70% de todos los suministros de agua dulce. Las sociedades humanas buscan la expansión agrícola, a través de la implementación de un mayor número de canales de riego y el uso cada vez mayor de pesticidas y fertilizantes, cuyas consecuencias son la contaminación, deterioro y reducción del recurso agua, (FAO, 2003) .

En el caso de algunos sistemas lacustres, como es el caso de la laguna de Tayguayguay en Venezuela, las concentraciones de fósforo y nitrógeno superan ampliamente los valores considerados para aguas no contaminadas, esto a consecuencia de la descarga de fertilizantes en el agua con alto contenido de nitrógeno y fósforo, generando así un alto proceso de eutrofización, (Bejumea, et al., 2019, p. 636). El agua es un recurso indispensable para el bienestar humano, la calidad del ambiente y para la preservación de la biota, según lo establecido por Espinal et al., (2013 p. 148), por esto el creciente interés por manejar y conservar el recurso hídrico es más notable (Sánchez, 2019 p. 108).

En el Ecuador, el deterioro de las lagunas, lagos y ríos se ha incrementado por la intervención del hombre ya que en el país el problema más grande, en cuanto a deterioro de calidad del agua es la eutrofización, proceso natural lento e independiente, pero por medio de acciones como la urbanización, agricultura, desarrollo energético y turismo, este proceso se ha acelerado acortando la vida útil de los cuerpos de agua, (Bonifaz, 2022, págs. 1-2).

La calidad de agua desde un punto de vista funcional se puede definir como la capacidad que tiene el recurso para responder a diversos usos en los cuales puede ser aplicada, desde el punto de vista ambiental se define como condición es que debe cumplirse para mantener en equilibrio y buen estado un ecosistema, cumpliendo con parámetros establecidos dentro de sus características físicas, químicas y microbiológicas, (Bosch, 1999, p.196).



Dentro de los parámetros físicos para la evaluación de la calidad de agua se encuentran el potencial hidrógeno (pH), temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, color, turbidez, salinidad; para los parámetros químicos se determina la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal, fósforo, fosfatos; y en caso de los parámetros microbiológicos se encuentran coliformes fecales, coliformes totales, aerobios, hongos, mohos, levaduras (Vásquez, 2019, pp. 20-21).

En este contexto, el presente trabajo se enfoca en la evaluación de la calidad de agua de la laguna Magtayan, que se encuentra localizada en la zona alta del Parque Nacional Sangay en el sector de Ozogoche parroquia Achupallas, cantón Alausí, provincia de Chimborazo, por medio de macroinvertebrados bentónicos, los cuales son organismos biológicos presentes en el fondo del cuerpo de agua, en la mayoría de ecosistemas acuático de agua dulce, con alta susceptibilidad a cambios en el agua principalmente cuando sus variables fisicoquímicas y biológicas cambian (Gamboa, et al., 2008: pp. 109-110).

Para su obtención se utilizó la técnica manual que consiste en buscar los insectos en restos de hojas, ramas, lodo, piedras de forma minuciosa y exhaustiva para obtener un mayor número de individuos, siendo estos algunos de los lugares más frecuentes para su ubicación, y la técnica de patada que consiste en remover por medio de patadas el sedimento del fondo del cuerpo de agua, para así atrapar macroinvertebrados dentro de una red (Carrera y Fierro, 2001: p.36).

Estos organismos pueden ser utilizados como bioindicadores debido a que presentan diversos rangos de tolerancia a contaminantes, (Figuroa et al., 2003: pp.276-279). A través del análisis de los 20 parámetros establecidos y de los macroinvertebrados bentónicos encontrados, identificados y clasificados con el método Biological Monitoring Working Party (BMWP) se obtendrá el resultado de la calidad de agua, de acuerdo con Roldán y Ramírez, (2022: pp. 569-571), para así formular las medidas de manejo ambiental para conservar y aprovechar la laguna de Magtayan.

Pregunta de investigación

¿La calidad de agua de la laguna Magtayan es afectada por la presencia de desechos sólidos arrojados por visitantes y la población local?

Objetivos

Objetivo General

Evaluar la calidad de agua por medio de macroinvertebrados en tres sitios de visita de la laguna Magtayan-Parque Nacional Sangay, sector Ozogoche.



Objetivos Específicos

- Monitorear la condición ambiental de tres sitios de visita de la laguna Magtayan
- Analizar la biodiversidad de las comunidades de macroinvertebrados de tres sitios de visita de la laguna Magtayan.
- Formular medidas de manejo ambiental para conservar y aprovechar la laguna Magtayan.

Material y métodos

Material

Instrumentos: Estadística y graficas

Equipos: multiparámetro Hach, nefelómetro, espectrofotómetro, conductímetro, incubadora Mermet, estufa, microscopio, estereoscopio, estereomicroscopio, lámparas con lupas.

Materiales consumibles: Reactivos (cloruro de calcio, sulfato, cloruro de hierro, nitrógeno, nitrato), soluciones (agua destilada, alcohol, etanol al 96%), materiales de laboratorio (vasos de precipitación, pipetas, tubos de propileno, bandejas, pinzas entomológicas, cajas Petri), baldes de plástico de 2 litros.

Entorno o ubicación: La laguna Magtayan se localiza en Ecuador, en la provincia de Chimborazo, cantón Alausí, parroquia Achupallas, sector Ozogoche en la zona alta del Parque Nacional Sangay. La Laguna se encuentra ubicada a una altitud de 3860 msnm, entre las coordenadas: latitud 9751.366 (UTM), y longitud 768.268 (UTM), posee un área de 226.6 ha y un perímetro de 8431.14 m.

Tipo de muestreo: Estructurado de tipo observacional y analítico.

Métodos

Identificación de los sitios de muestreo

Se identificó tres sitios de muestreo, a través de un esquema de muestreo estratificado con independencia de la muestra, y se utilizó los siguientes criterios de identificación: accesibilidad, frecuencia de visitas por turistas, y diferentes hábitats. Para la denominación de los puntos se utilizó códigos formado por tres caracteres. El primer carácter designa el número de laguna (7), el segundo carácter determina que la laguna se encuentra en un área protegida (A) y el tercer carácter indica el punto de muestreo (1,2,3). El muestreo se realizó dos veces, entre los meses de marzo a julio del año 2023, el primer muestreo fue en el mes de marzo y el segundo en el mes de julio, el tiempo transcurrido de un muestreo al otro, fueron de dos meses, debido a que es



el tiempo estimado de recuperación de los ecosistemas acuáticos, ante la alteración o perturbación generada por la intervención humana.

Técnica de colecta de macroinvertebrados en campo

El muestreo en campo se llevó a cabo por medio de dos técnicas de colecta de macroinvertebrados, consideradas las más efectivas de acuerdo con Abarca, 2007; citado en Machado et al., (2018 p. 156), las cuales se describen a continuación:

Técnica manual

Consiste en la recolección de macroinvertebrados dentro de la laguna a una distancia de 2-3 metros de la orilla y 10 metros por 5 minutos en cada extremo de derecha a izquierda, se empleó pinzas entomológicas, guantes, vadeador, y tubos de polipropileno, se aplicó una búsqueda exhaustiva y con mucho tacto para no dañar la morfología del espécimen, (MINAM-Perú, 2014, p. 39).

Técnica de patada

Se llevo a cabo por medio del uso de un vadeador y una red tipo D con malla de 500 μm , y un asa de 1,9 m, el proceso consistió en sumergirse a 10 metros de la orilla, e ir pateando contracorriente el sedimentos de la laguna e ir atrapando los especímenes que se encuentren en el fondo, una vez adquirida la muestra se procedió a colocarlas en baldes de 2 litros con agua de la laguna para su transporte al laboratorio.

Técnica de identificación de macroinvertebrados

Se realizó a través de la clasificación de los individuos colectados de las muestras en campo, su clasificación se llevó a cabo por medio de la identificación de rasgos morfológicos, que fueron comparados con guías de macroinvertebrados existentes a nivel local, la identificación se realizó por medio del uso de pinzas entomológicas, bandejas, lupas y tubos de polipropileno en los cuales fueron envasados y conservados con etanol al 96%, (González, et al., 2019: pp. 16-153).

Técnicas de muestreo de agua en campo

El muestreo de agua se llevó a cabo en los tres sitios (7A1, 7A2, 7A3), se inició introduciendo cada una de las sondas del multiparámetro Hach, en el agua, en cada uno de los puntos de muestreo, sin alterar la condición natural, para evitar la alteración de los datos, por medio de este multiparámetro se obtuvo los parámetros (pH, CE, temperatura, OD, ODS, STD).

Técnicas de procesamiento de parámetros en laboratorio

Parámetros físicos



Se utilizó el nefelómetro 2130B, para determinar la turbidez, en donde se colocó 25ml de muestra de agua de la laguna sobre una de las celdas y se obtuvo el valor; para el caso del color se usó el espectrofotómetro HACH DR 5000, se colocó la muestra con agua destilada y se ingresó el código 120 lo cual generó el valor del color; y para la salinidad se empleó el conductímetro con el método 2520B, en donde se introdujo la sonda y este arrojó el resultado (Andrew et al.,2005).

Parámetros químicos

Para la determinación de los parámetros NO_2^- , NO_3^- , NH_3 , $\text{PO}_4\text{-P}$, DQO, DBQ₅, PO_4^{3-} , se empleó el espectrómetro HACH, con los diferentes códigos de acuerdo con la Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Andrew et al.,2005).

Parámetros microbiológicos

Se empleó placas Petrifilm, estufa y la muestra de agua, la muestra fue colocada sobre la placa y esta se introdujo en la estufa por 24, 48 y 72, en donde en cada tiempo se contabilizó el número de coliformes fecales, coliformes totales, aerobios, mohos y levaduras, las cuales se diferenciaron por las diferentes tonalidades que tomaban cada una de ellas.

Técnicas para el análisis de la biodiversidad

Se empleó 5 índices, siendo estos Shannon-Weaver para determinar la diversidad, Simpson para la dominancia, Margalef para la riqueza y Sorensen y Jacard para analizar la similitud de especies obtenidas en cada uno de los puntos muestreados (Moreno, 2001, pp.24-47-48), ver tabla 1.

Tabla 1.

Ecuación de los índices de biodiversidad

Índice	Ecuación
Shannon- Weaver (H')	$H = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$
Simpson	$S = 1 / \sum (n_i(n_i - 1) / N(N - 1))$
Margalef	$I = \frac{S - 1}{\log n N}$
Sorensen	$I_s = \left(\frac{2c}{a + b} \right) \times 100$
Jaccard	$IJ = \left(\frac{c}{a+b+c} \right) \times 100$

Fuente: Bo-Ra et al., 2017

Técnicas para la valoración análisis de calidad de agua usando macroinvertebrados

Se aplico un total de 4 índices biológicos para determinar la calidad de agua, siendo estos el Índice Biological Monitoring Working Party o BMWP/Col, Índice de Average Score per Taxon o ASPT, Andean Biological Index o ABI y el Ephemeroptera, Plecóptera, Trichoptera o EPT de acuerdo a los establecido por Roldan (2003), Ríos-Touma et al., (2014: pp.6-7), y Carrera y Fierro (2001: p.43), estos se basan principalmente en la aplicación de un valor a cada macroinvertebrado, para obtener una ponderación total de todos lo individuos, indicando que a mayor resultado el agua corresponde una calidad buena o caso contrario si el valor total es bajo la calidad es mala, estos índices se usaron por la similitud de los ecosistemas y porque fueron aplicados en Sudamérica, ver tabla 2.

Tabla 2.

Índices bióticos para determinar la calidad de agua

Familia	BMWP/Col	ABI
Ameletopsychidae, Hebeaenidae, Gripopterygidae	10	10
Dytiscidae, Hydrobiidae	9	3-4
Heteropsychidae, Leptoceridae, Saldidae, Simuliidae	8	10-4
Baetidae, Ceratopogonidae, Conidae, Glossosomatidae, Hydrilidae, Nematidae, Scirtidae	6	4-5, 7-6, 5, 5
Achnidae, Elmidae, Sphaeriidae, Planorbidae, Tubificidae	5	6, 5, 3-4
Empididae, Sphaeriidae, Leptoceridae, Hydrilidae	4	4, 3-5
Ceratopogonidae, Glossosomatidae, Hydrobiidae, Physidae, Tipulidae	3	4, 3, 3-5
Chironomidae, Culicidae	2	2
Tubificidae	1	1

BMWP/Col				
CLASE	CALIDAD	BMWP/Col	SIGNIFICADO	COLOR
I	Buena	>150 (101-120)	Limpia a limpias	
II	Aceptable	61-100	Poco contaminada	
III	Dudosa	36-60	Moderadamente contaminada	
IV	Crítica	16-35	Muy contaminada	
V	Muy crítica	< 15	Fuertemente contaminada	

ASPT					
Clase	Calidad	BMWP/Col	Valor del ASPT	Significado	Color
I	Buena	>150 (101-120)	>9-10	Muy limpias	
II	Aceptable	61-100	>6,5-8	No contaminadas	
III	Dudosa	36-60	>4,5-6,5	Ligeramente se evidencia contaminación.	
IV	Crítica	16-35	>3-4,5	Muy contaminadas	
V	Muy crítica	< 15	1-3	Fuertemente contaminadas-crítica	

ABI			
Clase	Calidad	Valoración del ABI	Color
I	Muy bueno	>98	
II	Bueno	61-97	
III	Moderado	36-60	
IV	Malo	16-35	
V	Pésimo	<15	

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

Orden	Familia
Ephemeroptera	Baetidae
Plecoptera	Gripopterygidae
Trichoptera	Heptopsychidae
	Leptoceridae
	Hydrobiidae
	Glossosomatidae
	Ameletopsychidae
	Limnephilidae

Fuente: Elaboración propia (2023)

Técnicas para formular medidas de manejo y conservación

Para formular mas medidas de manejo y conservación de la laguna se uso como guía el Manual de Planificación para la conservación de Áreas (PCA) (Granizo et al., 2006: pp. 57-58), en donde como primer paso se procede a identificar el objeto de conservación, por medio de un filtro grueso y fino, a partir de este filtro se procedió a identificar las amenazas generadas sobre el objeto siendo las presiones y fuentes de presión, a partir de ello se identificaron las

oportunidades y estrategias para la conservación, finalmente se procedió a realizar una representación gráfica de las medidas de manejo y conservación, las con presiones, fuentes de presión, objetivo y oportunidades.

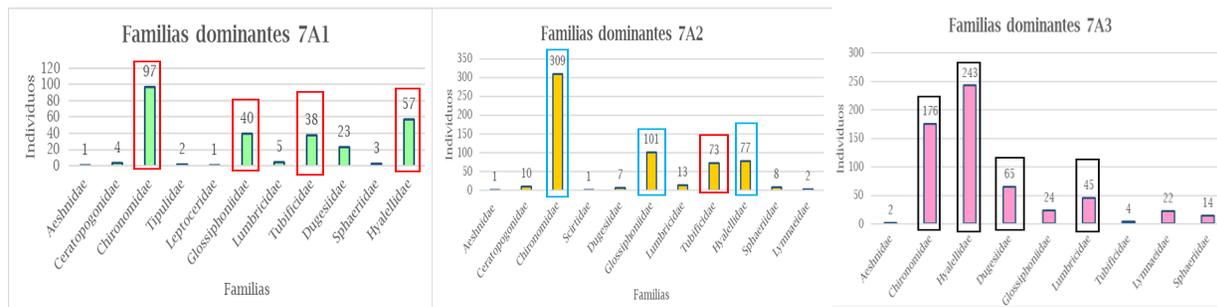
Resultados

A continuación, se detallan los resultados más relevantes obtenidos en la presente investigación, en primera instancia se obtuvo el número total de macroinvertebrados recolectados por sitio en ambos muestreos (marzo-julio 2023), para una mejor comprensión se presentan gráficas y tablas con los resultados obtenidos haciendo una comparación entre sitios en diferentes fechas.

Macroinvertebrados

Grafica 1.

Número de familias con mayor predominancia de los tres sitios en el primer muestreo.

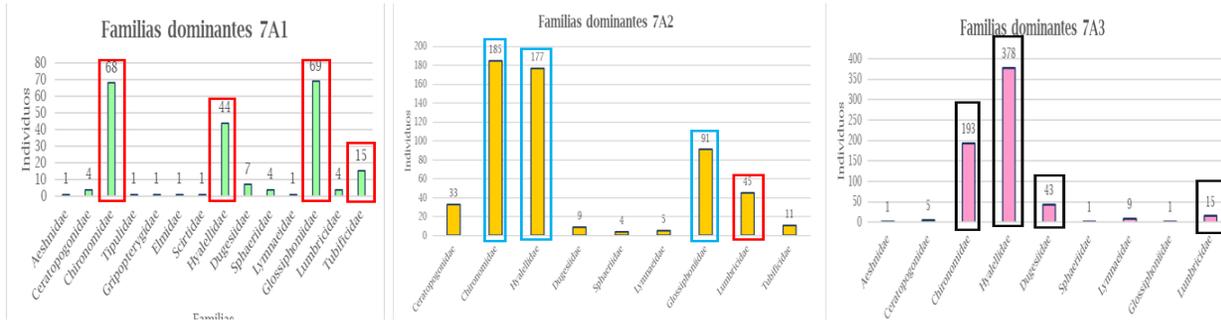


Fuente: Elaboración propia (2023)

Las gráficas representan el total de macroinvertebrados encontrados en cada sitio y la dominancia de las familias, las cuales se encuentran encerradas en un recuadro, la gráfica para el sitio 7A1, demuestra que hay 4 familias con mayor dominancia siendo Chironomidae con 97 individuos, Hyalellidae con 57, Glossiphoniidae con 40 y Tubificidae con 38. En el sitio 7A2 indica una dominancia significativa de Chironomidae con 309, Glossiphoniidae con 101, Hyalellidae con 77 y Tubificidae con 73. En el punto 7A3, presento dominancia de Hyalellidae con 243, Chironomidae con 176, Dugesidae con 65 y Lumbricidae con 45, lo que en síntesis indica que la dominancia de los individuos en los 3 sitios es de familias que toleran la presencia de grandes cantidades de materia orgánica, según lo establecido por Sierra (2011).

Grafica 2.

Número de familias con mayor predominancia de los tres sitios en el segundo muestreo



Fuente: Elaboración propia (2023)

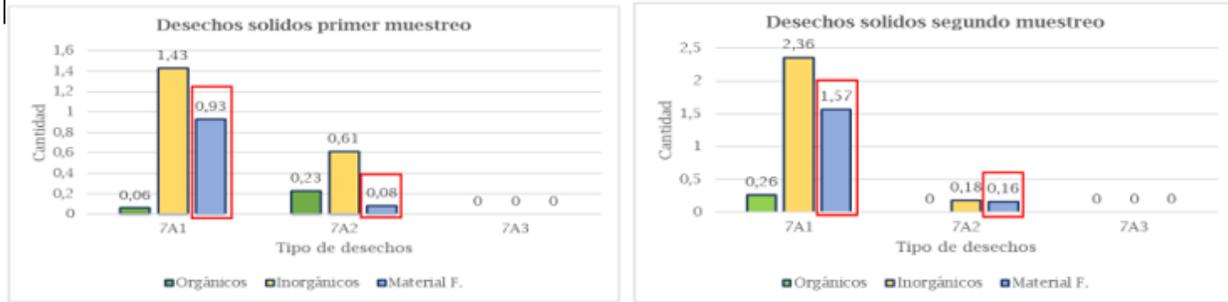
En esta gráfica, las familias dominantes, son Glossiphoniidae con 69, Chironomidae con 68, Hyalellidae con 44 y Tubificidae con 15, para el segundo punto se evidencia que la dominancia esta con las familias Chironomidae con 185, e Hyalellidae con 177, seguido de Glossiphoniidae con 91 y Lumbricidae con 45, y para el punto tres la familia Hyalellidae con 378, Chironomidae con 193, Dugesidae con 43, y Lumbricidae con 15, por medio de las gráficas se pudo determinar que la dominancia de las familias siguen siendo las tolerantes a presencia de materia orgánica, Sierra (2011).

Análisis de comparación: Por medio del análisis de las dos graficas de ambas fechas de muestreos, se determinó que la dominancia de familias son Chironomidae, Hyalellidae, Glossiphoniidae y Tubificidae, lo que nos indica que según la literatura revisada, en los tres puntos la presencia de materia orgánica es visible, además que indica que las diferencias no base a las fechas de muestreo no difiere en la presencia de individuos, además denota que el punto con mayor numero de individuos fue el tercer punto con un total de 1468 para el primer muestreo y de 1427 macroinvertebrados en el segundo, siendo en su mayoría ejemplares de alta tolerancia al material orgánico, excepto la familia Hyalellidae que puede ser adaptativa a cualquier medio.

Desechos Solidos

Grafica 3.

Cantidad de desechos sólidos en los dos muestreos



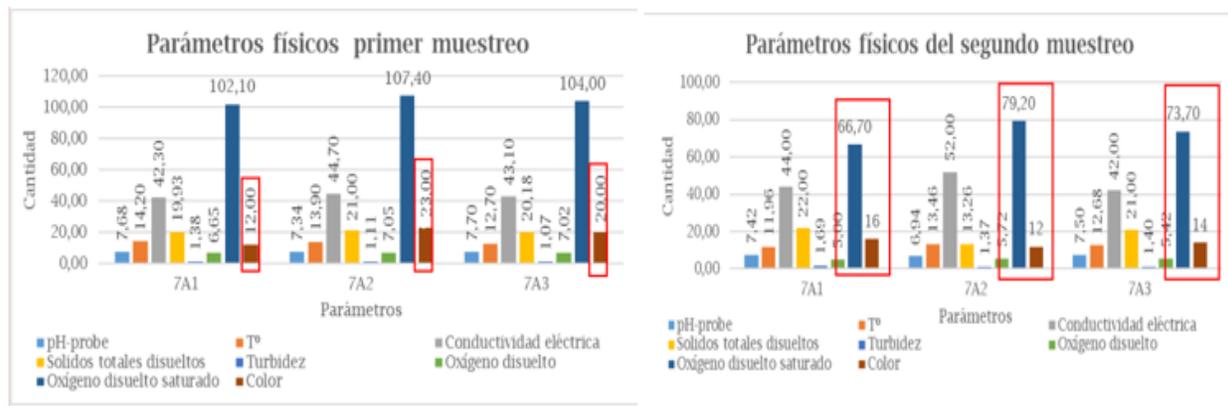
Fuente: Elaboración propia (2023)

Análisis de comparación: A partir de las gráficas se pudo evidenciar la presencia de material flotante únicamente en los puntos 7A1 y 7A2 de ambos muestreos, se demuestra que la mayor presencia de material flotante fue en el primer punto con valores de 0,93lb en el primer muestreo y 1,57 en el segundo, siendo en su mayoría material plástico como envoltura, botellas, y fundas, que evidentemente es de origen antrópico, su cantidad se debe a que este punto es un sitio usado por campistas lo cual tiende a generar mayor contaminación.

Parámetros físicos

Grafica 4.

Resultados de parámetros físicos del agua



Fuente: Elaboración propia (2023)

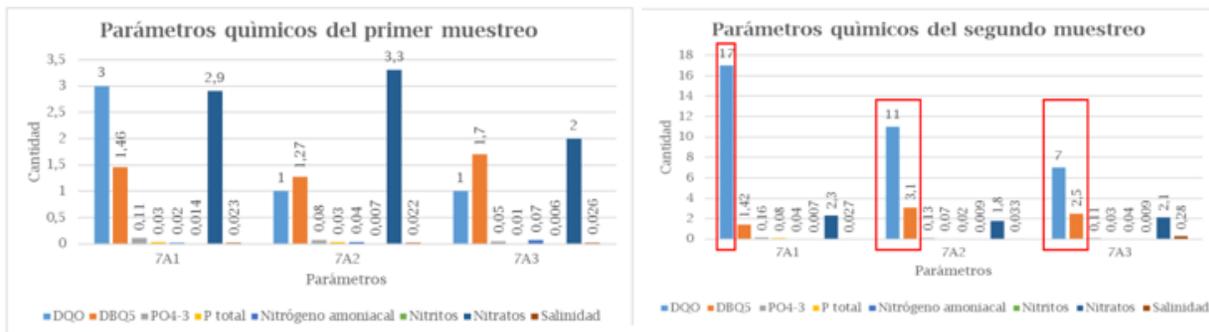
Análisis de comparación: Los resultados indican que en el primer muestreo, el parámetro de color en ninguno de los 3 puntos cumple, con los rangos establecidos por el TULSMA (2003), indicado que sobrepasa los límites establecidos en el uso de agua para preservación de la vida acuática-silvestre y uso recreativo de contacto primario y secundario. En el caso del segundo

muestreo, indica que dos de los 8 parámetros incumplen con los rangos, siendo el color y el oxígeno disuelto saturado, este último está por debajo de su límite permisible en sus tres puntos lo que se pudo deber al clima seco de la región en el mes de julio.

Parámetros Químicos

Grafica 5.

Resultados de parámetros químicos del agua



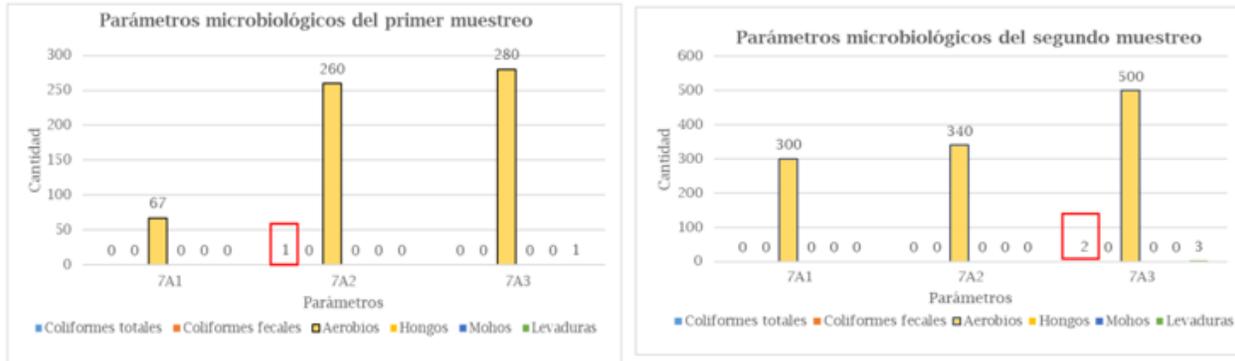
Fuente: Elaboración propia (2023)

Análisis de comparación: Se evidencia que en el primer muestreo los resultados de los 8 parámetros se encuentran dentro de los límites permisibles por el TULSMA, para el uso de preservación de la vida acuática y silvestre, sin embargo, los resultados cambian en el segundo muestreo ya que el DQO y DBQO₅ cambian, para el primer parámetro su cantidad sobrepasa los límites, y para el segundo parámetro su cantidad disminuye, esto se debe a que existe la presencia de materia orgánica y procesos de eutrofización en la laguna, lo cual desequilibra la condición química del agua.

Parámetros Microbiológicos

Grafica 6.

Resultados de parámetros microbiológicos del agua



Fuente: Elaboración propia (2023)

Análisis de comparación: En los dos muestreo 4 de los 5 parámetros cumplen con los rangos establecidos por el Tulsma, en base al agua para preservación de la vida acuática y silvestre, sin embargo, el parámetro coliformes totales no cumplió en el punto 7A2 del primer muestreo y 7A3 del segundo, ya que debe existir ausencia de este parámetro, lo cual indica que existe contaminación por material fecal en la laguna y por ende la presencia de bacterias patógenas que pueden afectar la calidad.

Biodiversidad

Grafica 7.

Resultados de índices de biodiversidad de macroinvertebrados

Muestreo del sitio de visita 1A1				Muestreo del sitio de visita 2A1			
Sitio	Shannon	Simpson	Margalef	Sitio	Shannon	Simpson	Margalef
7A1	1,73	0,78	1,79	7A1	1,70	0,76	2,41
7A2	1,21	0,68	1,56	7A2	1,62	0,75	1,26
7A3	1,52	0,72	1,25	7A3	1,07	0,56	1,24

Fuente: Elaboración propia (2023)

Análisis de comparación: Se puede evidenciar que los resultados de Shannon del primer muestreo solo se encuentra en el primer punto con 1,73 y en el segundo muestreo en los dos primeros sitios con 1,78 y 1,62 indicando que existió una ligera variedad en el número de familias; en base al índice de dominancia de Simpson se indica que en los dos muestreos la mayoría de los puntos muestreados la dominancia de familias es alta, ya que el mayor número de individuos pertenecían a una misma familia; con base al índice de Margalef, se determinó que la riqueza fue baja en el primer muestreo debido a la carencia de diferentes familias, en caso

del segundo muestreo se evidencio una incremento solo en el primer punto, esto puede deberse a que las condiciones del medio cambio, una búsqueda más exhaustiva, interacciones bióticas o mayor recursos.

Similitud

Grafica 8.

Resultados de índices de similitud

Sorensen				Jaccard				Sorensen				Jaccard			
	7A1	7A2	7A3		7A1	7A2	7A3		7A1	7A2	7A3		7A1	7A2	7A3
7A1	1	0.81818182	0.8	7A1	1	0.69230769	0.66666667	7A1	1	0.7826087	0.7826087	7A1	1	0.64285714	0.64285714
7A2	0.81818182	1	0.9	7A2	0.69230769	1	0.81818182	7A2	0.7826087	1	0.88888889	7A2	0.64285714	1	0.8
7A3	0.8	0.9	1	7A3	0.66666667	0.81818182	1	7A3	0.7826087	0.88888889	1	7A3	0.64285714	0.8	1

Fuente: Elaboración propia (2023)

Análisis de comparación: Se pudo determinar por medio de los índices de Sorensen y Jaccard que los puntos muestreados con mayor indie de similitud en base a los macroinvertebrados encontrados fueron entre el 7A2 y 7A3 en ambos muestreos con rangos de 0,9 y 0,8 respectivamente, indicando que las condiciones de hábitat para las familias de macroinvertebrados mas dominantes son similares.

Índices bióticos de calidad de agua

Grafica 9.

Resultados de índice BMWP/Col

Muestreo del sitio de visita 1A1				Muestreo del sitio de visita 2A1			
Sitio	Puntaje de BMWP/Col	Calidad	Significado	Sitio	Puntaje de BMWP/Col	Calidad	Significado
7A1	43	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas	7A1	62	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas
7A2	37			7A2	30	Critica	Aguas muy contaminadas
7A3	33	Critica	Aguas muy contaminadas	7A3	35		

Fuente: Elaboración propia (2023)

Análisis de comparación: Se evidencio que la calidad de agua en el primer muestreo fue de calidad dudosa a critica, esto se debe a que el número de individuos tuvieron una ponderación

baja, por ser macroinvertebrados que tienen alta resistencia a materiales orgánicos contaminantes, en el caso del segundo muestreo se evidencio una calidad de agua aceptable en donde se observa un cambio significativo ya que en este punto se encontró un individuo de la familia Griptopterygidae el cual puntúa con 10 incrementando así su resultado y determinando dicha calidad.

Grafica 10.

Resultados de índice ASPT

Sitio	Puntaje de ASPT	Calidad	Significado
7A1	3.91	Critica	Aguas muy contaminadas
7A2	3.36		
7A3	3.67		

Sitio	Puntaje de ASPT	Calidad	Significado
7A1	4.43	Critica	Aguas muy contaminadas
7A2	3.33		
7A3	3.89		

Fuente: Elaboración propia (2023)

Análisis de comparación: Según el análisis se determinó una calidad de agua critica en los 3 puntos de ambos muestreos debido a que este índice pondera de acuerdo con las familias encontradas, reduciendo así su ponderación lo que indica dicha calidad.

Grafica 11.

Resultados de índice ABI

Muestreo del sitio de visita 1A1				Muestreo del sitio de visita 2A1			
Sitio	Puntaje de ABI	Calidad	Significado	Sitio	Puntaje de ABI	Calidad	Significado
7A1	44	Moderado	Aguas contaminadas, dudosas	7A1	59	Moderado	Aguas contaminadas, dudosas
7A2	39			7A2	28	Malo	Aguas muy contaminadas, críticas
7A3	30	Malo	Aguas muy contaminadas, críticas	7A3	33		

Fuente: Elaboración propia (2023)

Análisis de comparación: Se evidencio que la calidad de agua por medio del índice ABI, la calidad en el primer muestreo fue de moderada a mala, y en el segundo prevaleció la calidad de agua mala, esto se debe al número de individuos recolectados, ya que se evidencia ue en el primer muestreo va de 39 a 44 individuos lo cual genera una mayor ponderación, a comparación del segundo en donde se evidencia que bajan, principalmente en el segundo punto siendo 28 individuos a comparación del primero con 39.

Grafica 12.

Resultados de índice EPT

Sitio	Puntaje de EPT (%)	Calidad
7A1	0%	Mala
7A2	0%	Mala
7A3	0%	Mala

Sitio	Puntaje de EPT (%)	Calidad
7A1	0%	Mala
7A2	0%	Mala
7A3	0%	Mala

Fuente: Elaboración propia (2023)

Análisis de comparación: Se evidencio que la calidad de agua con el índice EPT, es de mala, por tener valores de 0%, esto se debe a que en la mayoría de los puntos no se encontró un numero significativo de ejemplares, cabe recalcar que si aparecieron únicamente dos ejemplares de los órdenes mencionados siendo Gripopterygidae y Trichoptera, pero que su presencia fue insignificante, ya que este índice se basa en la cantidad de individuos de esos ordenes lo cual no fue evidente en estos muestreos.

Discusión

Los macroinvertebrados identificados incluyeron 1468 individuos en el primer muestreo y 1427 en el segundo. Las familias presentes fueron Chironomidae, Hyalellidae y Glossiphoniidae en los sitios 7A1 y 7A2, mientras que en 7A3 se añadió Dugesiidae. Las larvas de Chironomidae poseen hemoglobina, lo que les permite sobrevivir en ambientes anóxicos (Oviedo y Reinoso, 2018: p. 104), Dugesiidae y Glossiphoniidae indican ecosistemas degradados (Roldán, 2022: pp. 42-556) mientras que Hyalellidae se encuentra en ambientes con materia orgánica en descomposición (Walteros, 2018).

En el sitio 7A1, los parámetros físicos del primer muestreo se ajustaron al TULSMA (MAATE, 2015). En el segundo muestreo, la turbidez y el STD variaron debido a material flotante y macrófitas. Los puntos 7A2 y 7A3 presentaron condiciones similares al primer muestreo en 7A1. Químicamente, el DQO en el segundo muestreo excedió los límites permisibles (17 mg/L frente a 2 mg/L), mientras que los otros parámetros se mantuvieron dentro de la normativa.

Los índices de diversidad mostraron resultados variados. Shannon-Weaver reflejó diversidad media en 7A1 y baja en 7A2 y 7A3, aunque hubo un aumento en el segundo muestreo. Simpson también indicó diversidad media, mientras que Margalef destacó la sensibilidad al tamaño muestral, sobresaliendo 7A1 en el segundo muestreo. Sorensen y Jaccard mostraron alta similitud entre 7A2 y 7A3 debido a factores ambientales comunes (Ruiz-Picos et al., 2016)

El índice BMWP/Col clasificó la calidad del agua como "dudosa" en 7A1, mejorando a "aceptable" en el segundo muestreo, influenciado por la adición de Gripopterygidae Medina et al., (2010: p.2). En contraste, los puntos 7A2 y 7A3 se calificaron como "dudosa" y "crítica",



respectivamente. Según el ASPT, todos los puntos mantuvieron una calidad "crítica" en ambos muestreos de acuerdo a Mora y Tamay, (2022: p. 25).

En el ámbito microbiológico, el incremento de organismos aerobios (300-500 UFC) en el segundo muestreo se atribuyó a condiciones neutras y materia orgánica, lo que sugiere posibles fuentes de contaminación (Obón de Castro, 2018).

El índice ABI clasificó la calidad del agua como "moderada" en 7A1, mientras que en 7A2 y 7A3 fue "mala", debido a la baja diversidad. El índice EPT señaló calidad "mala" en todos los puntos, destacando la ausencia de órdenes claves como Trichoptera y Plecoptera, causada por bajas concentraciones de oxígeno en ecosistemas altoandinos (Terneus et al., 2012).

En general, los análisis reflejan variaciones en la calidad del agua, con algunos indicadores señalando condiciones críticas y degradación en ciertos puntos.

Conclusiones

La presencia de macroinvertebrados se ve representada por las familias Chironomidae, Hyalellidae, Glossiphoniidae y Dugesiididae como dominantes los cuales se caracterizan por una alta tolerancia a la contaminación de materia orgánica, por otro lado, las familias de Lumbricidae, Sphaeriidae, Tubificidae, Leptoceridae y Gripopterygidae fueron las de menor abundancia, siendo dos estas últimas indicativas de buena calidad de agua, las cuales en estos puntos fueron menor por la baja cantidad de OD. A través de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos analizados en los 3 puntos de muestreo, estos mostraron una variación mínima entre puntos en los dos muestreos, los cuales cumplieron en su mayoría con los rangos establecidos por el TULSMA para la conservación de la vida acuática y silvestre, estableciendo que la condición del agua en base a estos parámetros son los adecuados, por otro lado, se determinó que la presencia de desechos de origen inorgánico en suelo y material flotante en agua, prevaleció en los puntos 7A1 y 7A2 por la presencia de turistas y población local, lo cual causa una alteración a los cuerpos de agua y a toda su composición, por ende es necesario establecer medidas de manejo y conservación para la laguna.

Se concluye que la presencia de macroinvertebrados en los tres puntos de muestreo, determinaron una diversidad de "baja" a "media", debido a la dominancia de algunas familias (Chironomidae, Glossiphoniidae, Hyalellidae y Glossiphoniidae) que prevalecen en ambientes contaminados por materia orgánica. En términos de calidad de agua por medio de los índices bióticos, la estructura y características de las familias encontradas, establecieron una calidad de agua "mala", "dudosa", "crítica" y "aceptable" para los 3 puntos por separado en ambos muestreos, y de forma global (3 puntos), se estableció una calidad de agua de "crítica", "moderada" "dudosa" y "aceptable" indicando que la incidencia de actividades turísticas y de la población local interviene en la presencia de macroinvertebrados y sus hábitats, ya sea por ausencia de buenos indicadores o dominancia de macroinvertebrados tolerantes a la



contaminación, lo que da paso a generar medidas y monitoreos continuos para disminuir la contaminación y mejorar la calidad de agua de la laguna e incrementar la diversidad de organismos acuáticos.

Referencias bibliográficas

- Andrew D. Eaton, Eugene W. Rice, and R. B. B. (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater Part 4000 INORGANIC NONMETALLIC CONSTITUENTS Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. *ResearchGate*, 733. https://www.researchgate.net/profile/Lazaro-Marin-Guirao/post/What_is_an_effective_method_to_measure_soluble_phosphate_high_concentration_in_wastewater/attachment/59d61db879197b8077979a1c/AS%3A272472702685211%401441973963457/download/SMWW_4000-6000.pdf
- Bosch, J. R. (1999). La calidad de las aguas. *Revista de Obras Publicas*, 146(3388), 103–104. [https://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Documents/Plan_de_Recuperación del Júcar/Cap.3_part2._Libro_blanco_del_agua.pdf](https://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Documents/Plan_de_Recuperacion_del_Jucar/Cap.3_part2._Libro_blanco_del_agua.pdf)
- Carrera, Carlos; Fierro, K. (2001). *Manual de monitoreo de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua.* (Zambrano,O). https://biblio.flacsoandes.edu.ec/shared/biblio_view.php?bibid=144719&tab=opac
- Figueroa, R., Valdovinos, C., Araya, E., & Parra, O. (2003). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 76(2), 275–285. <https://doi.org/10.4067/s0716-078x2003000200012>
- Granizo, Tarsicio; Molina Elena; Secaira, E. (2006). *Manual de Planificación para la Conservación de Áreas PCA.*
- MAATE. (2015). Acuerdo Ministerial N° 097-A: Registro Oficial Suplemento 387 de 4 de Noviembre de 2015. *Libro VI, Anexo I*, 184.
- Medina-Tafur, C., Hora-Revilla, M., Asencio-Guzmán, I., Pereda- Ruíz, W., & Gabriel-Aguilar, R. (2010). El índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), modificado y adaptado a tres microcuencas del Alto Chicama. La Libertad. Perú. 2008. *Sciendo*, 13(2), 15.
- Mora, M., & Tama, A. (2022). “Determinación Del Índice De Calidad De Agua Mediante El Monitoreo De Macro Invertebrados, Parámetros Físicoquímicos Y Microbiológicos En El Río Sinincay, Cuenca - Ecuador. In *Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca*. [https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21888#:~:text=La determinación de la calidad,y proponer propuestas para la](https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21888#:~:text=La%20determinaci%20n%20de%20la%20calidad,y%20proponer%20propuestas%20para%20la)



- Moreno, C. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad* (Primera). GORFI,S,A. <http://entomologia.rediris.es/sea/manytes/metodos.pdf>
- Obón de Castro, J. (2018). Análisis Microbiológico Del Agua. *Manual de Practicas de Laboratorio de Microbiología*, 73–80. <https://doi.org/10.2307/j.ctt1zk0mfb.13>
- Oviedo-Machado, N., & Reinoso-Flórez, G. (2018). Ecological aspects of Chironomidae larvae (Diptera) of the Opia river (Tolima, Colombia). *Revista Colombiana de Entomología*, 44(1), 101–109. <https://doi.org/10.25100/socolen.v44i1.6546>
- Rios-Touma, B., Acosta, R., & Prat, N. (2014). The Andean Biotic Index (ABI): revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation. *Revista de Biología Tropical*, 62(April), 249–273. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v62s2/a17v62s2.pdf>
- Ruiz-Picos, R. A., Sedeño-Díaz, J. E., & López-López, E. (2016). Ensamblajes de macroinvertebrados acuáticos relacionados con diversos usos del suelo en los ríos Apatlaco y Chalma-Tembembe (cuenca del Río Balsas), México. *Hidrobiológica*, 26(3), 443–458.
- Sierra Ramirez, C. A. (2011). Calidad del Agua. Evaluación y diagnóstico(ESTADÍSTICA IMPORTANTE). In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).
- Terneus, E., Racines, M. J., & Hernández, K. (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>
- TULSMA. (2003). Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente,. In *Registro Oficial Edición Especial 2 de 31-mar.-2003* (Issue 3399, p. 407). <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>
- Walteros, J. (2018). Fichas rápidas para la identificación de macroinvertebrados acuáticos. *ResearchGate*, July, 1–117. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24858.54721>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

Este trabajo fue financiado íntegramente por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, sin asistencia financiera de partes externas.



Agradecimiento:

Como autora quiero agradecer a la ESPOCH, al proyecto de investigación “Evaluación de la calidad de los ecosistemas acuáticos de la zona alta del Parque Nacional Sangay aplicando múltiples líneas de evidencia” IDIPI-269, y al Ingeniero Patricio Lozano por su gran apoyo y orientación técnica y revisiones críticas que fortalecieron el trabajo.

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.