



Modelización de la calidad de agua en la laguna de anteojos perteneciente al Parque Nacional Llanganates

Modeling of water quality in the anteojos lagoon belonging to the llanganates national park

Modelação da qualidade da água na laguna de anteojos pertencente ao parque nacional de langanates

Carlos Rolando Rosero-Erao^I
carlos.roseroe@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-2691-5578>

Sofía Carolina Godoy-Ponce^{II}
sofia.godoy@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-6479-4343>

Catherine Gabriela Frey-Erao^{III}
cathyfrey2712@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4434-7394>

David Nicolás Matamoros-Ojeda^{IV}
dave.962010@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-7797-831X>

Correspondencia: carlos.roseroe@esPOCH.edu.ec

Ciencias Económicas y Empresariales
Artículo de Investigación

***Recibido:** 20 de febrero de 2022 ***Aceptado:** 21 de marzo de 2022 * **Publicado:** 04 abril de 2022

- I. Magister en Biodiversidad y Cambio Climático, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador, Universidad Santiago de Compostela, Compostela, España.
- II. Magister en Gestión del desarrollo local comunitario, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
- III. Università degli Studi della Calabria. Biodiversità e sistemi naturali (biologia, ecologia e scienza della terra), Calabria, Italia.
- IV. Ingeniero en Biotecnología Ambiental, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo (ESPOCH), Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático, Riobamba, Ecuador.

Resumen

El objetivo de la presente investigación es evaluar y modelizar la calidad de agua en el sector de la Laguna de Anteojos a través de un monitoreo realizado en los meses de julio, agosto y septiembre del año 2021. Mediante la captura e identificación de macroinvertebrados bentónicos y el monitoreo en 8 estaciones se efectuaron evaluaciones físico-químicas y biológicas del agua, se llegó a determinar 2855 observaciones de macroinvertebrados bentónicos clasificadas en 40 Familias, los cuales fueron encontrados en los ecosistemas de herbazal inundable del páramo, herbazal de páramo y zona agropecuaria. Posterior al monitoreo se identificaron los índices de diversidad alfa (Shannon-Wiener, Fisher-alfa, Simpson) y el Índice Biótico Andino, para luego aplicar un modelo geoestadístico que nos permite estimar y visualizar los resultados y el impacto generado en el área de estudio. Mediante el uso de técnicas de teledetección usando una imagen LandSat concerniente al año 2016 se identificó el Índice Mejorado de Vegetación (EVI) el cual nos ayuda a determinar y actualizar la vegetación circundante en zonas de monitoreo. Se efectuaron tres repeticiones para todo el periodo julio-septiembre del 2021, contrastando con la NTE TULSMA 097-A para agua de consumo, arrojando anomalías para pH y Coliformes Totales. El estudio genera brechas de diferencia en sistemas loticos con mayor riqueza, pero menor abundancia y en sistemas lenticos con mayor abundancia, pero menor riqueza. El aporte de esta investigación arroja como resultado una calidad moderada/ mala con un valor promedio para ABI de 38, ubicando la zona de mayor impacto al costado oeste de la Laguna de Anteojos.

Palabras clave: Calidad de agua; Biomonitoreo; macroinvertebrados; Altoandino; Herbazal Inundable del Páramo.

Abstract

The objective of this research is to evaluate and model water quality in the sector of Anteojos Lagoon through monitoring carried out in July, August and September 2021. Through the capture and identification of benthic macroinvertebrates and the monitoring in 8 stations, physico-chemical and biological evaluations of the water were made, being determined 2855 observations of benthic macroinvertebrates classified in 40 families, which were found in the ecosystems of floodable moorland grassland, moorland grassland and agricultural zone. After the monitoring, the alpha diversity indexes (Shannon-Wiener, Fisher-alpha, Simpson) and the Andean Biotic Index were identified, to then apply a geostatistical model that allows us to estimate and visualize the

results and the impact generated in the study area. Through the use of remote sensing techniques using a LandSat image concerning the year 2016, the Enhanced Vegetation Index (EVI) was identified, which helps us to determine and update the surrounding vegetation in monitoring areas. Three repetitions were carried out for the entire period July-September 2021, contrasting with NTE TULSMA 097-A for drinking water, showing anomalies for pH and total Coliforms. The study generates differences in lotic systems with greater richness, but lower abundance, and in lentic systems with greater abundance, but lower richness. The contribution of this research results in a moderate/poor quality with an average value for ABI of 38, locating the zone of greatest impact on the west side of Antejos Lagoon.

Keywords: water quality; biomonitoring; macroinvertebrates; high Andean; paramo flooded grassland.

Resumo

O objetivo desta investigação é avaliar e modelar a qualidade da água no sector da Laguna de Antejos através do acompanhamento realizado nos meses de Julho, Agosto e Setembro de 2021. Através da captura e identificação de macroinvertebrados bentónicos e monitorização em 8 estações, foram efectuadas avaliações físico-químicas e biológicas da água. Foram determinadas 2855 observações de macroinvertebrados bentónicos classificados em 40 famílias, que foram encontradas nos ecossistemas de prados pantanosos inundados, prados pantanosos e zona agrícola. Após a monitorização, foram identificados os índices de diversidade alfa (Shannon-Wiener, Fisher-alpha, Simpson) e o Índice Biótico Andino, e depois foi aplicado um modelo geoestatístico para estimar e visualizar os resultados e o impacto gerado na área de estudo. Através da utilização de técnicas de detecção remota utilizando uma imagem LandSat de 2016, identificámos o Enhanced Vegetation Index (EVI) que nos ajuda a determinar e actualizar a vegetação circundante nas áreas de monitorização. Foram realizadas três réplicas para todo o período Julho-Setembro de 2021, contrastando com a NTE TULSMA 097-A para água potável, mostrando anomalias para o pH e Coliformes Totais. O estudo gera lacunas de diferença em sistemas lóticos com maior riqueza, mas com menor abundância e em sistemas lênticos com maior abundância, mas com menor riqueza. A contribuição desta investigação resulta numa qualidade de água moderada/pobre com um valor médio ABI de 38, colocando a zona de maior impacto no lado ocidental da Laguna de Antejos.

Palavras-chave: Qualidade da água; Biomonitorização; macroinvertebrados; Alto Andino; Páramo inundou os prados.

Introducción

La ecohidráulica al ser una disciplina relativamente nueva integra diferentes modelos, con un enfoque principal en la modelación hidráulica para determinar la idoneidad del hábitat fluvial, este tipo de análisis espacial requiere entrada de datos alfanuméricos y geodatos los cuales tienen un procesamiento previo de tipo físico y computacional (Villamil, 2020). Los ecosistemas han experimentado varios impactos de tipo antrópico y natural como por ejemplo el avance de la frontera agrícola y regulaciones en el flujo. La ecohidráulica requiere de procesos y el uso de modelos numéricos avanzados en base a teorías ecológicas y esto sirve para una mejor gestión de los ríos y organismos acuáticos (Yao, 2020). Un método específico utilizado es el de idoneidad del hábitat, donde atributos físicos de tipo hidráulico (profundidad del agua, velocidad, sustrato, turbiedad, etc) se relacionan con índices de calidad de hábitat (idoneidad), la ecohidráulica integró los modelos ecológicos que relacionan los atributos físicos (variables) con los valores de idoneidad del hábitat (Moniz et al., 2019).

En la actualidad el páramo es un elemento geográfico por excelencia ya sea por sus factores biogeográficos, biofísicos, culturales, económicos, históricos (Beltran Karla et al., 2010, pp. 8–15) que contribuyen a las funciones primordiales en la producción de alimentos, regulación hídrica regional, producción de energía hidroeléctrica y fuente de agua para consumo (Buytaert et al., 2006). Ante mencionadas características el Parque Nacional Llanganates fue reconocido como Área Importante para la Conservación de las Aves y la Biodiversidad (IBA) por las entidades Birdlife International y Aves y Conservación debido a que aloja alrededor de 400 especies de aves, algunas de ellas en estado de amenaza, asimismo en 2008 se lo declaró como sitio de interés Ramsar a causa de la importancia biológica de los diversos ecosistemas de tipo alto andino presentes, así como los servicios ambientales derivados de estos (BirdLife International y Aves y Conservación, 2014, pp. 1–25) previo a ello, el Parque Nacional Llanganates presenta algunas problemáticas que comprometen el abastecimiento de agua para la zona de San Miguel de Salcedo dadas por las diversas actividades antropogénicas que por otro lado dinamizan la economía del sector pero a su vez generan una fragmentación en los ecosistemas alto andinos por lo que en distintos estudios se detalla la importancia sobre la evaluación integral físico/Química/microbiológica e integridad

ecológica como indicadores de calidad para detectar eventos puntuales de toxicidad como se cita de (Daza Fernando & Walteros Jeymy, 2015, pp. 38–46) sobre el análisis hidrobiológico con 6 estaciones a lo largo del cauce con un valor de 42 géneros entre los cuales *Navícula*, *Gomphonema*, *Mellosira* y *Fragilaria* identificados con un predominio en las 6 estaciones, 41 familias identificadas como *Baetidae*, *Chironomidae*, *Simuliidae* y un notable predominio en órdenes como *Díptera* y *Trichoptera*, reflejan que la calidad del agua va de buena hasta aceptable, de tal manera que se pudo traslucir el grado de vulnerabilidad ambiental de la cuenca como consecuencia de la interrelación entre los eventos naturales en conjunto con la acción antrópica en especial en zonas bajas del río. Todo esto se pudo desarrollar a partir de una estimación de las abundancias relativas en conjunto con el cálculo de los índices ecológicos de Margalef, Shannon-Weaver y Simpson con ayuda del software MVSP 3.13 y finalizando con la aplicación del índice biótico BMWP/Col permitiendo asignar una categoría de calidad de agua por estación. Previo a ello se propone una evaluación integral físico/química/microbiológica y de la integridad ecológica cuyo enfoque radique en los sistemas lacustres del Herbazal Inundable del Páramo sector de la laguna de anteojos y microcuenca del río Yanayacu perteneciente al Parque Nacional Llanganates.

Metodología

Materiales

Tabla 1: Materiales y equipos.

Equipo de Campo para el Monitoreo	
GPS Garmin	Libreta de campo
Etiqueta de Colecta	Lupa (8-10)X
Pincel	Pinza entomológica
Red Surber (300-500)um	Red tipo D 250um
Tubos Eppendorf	Frascos de vidrio
Frascos de vidrio ámbar	Fundas Ziploc
Bandeja amplia color blanco	Metanol 70%
Cooler	Botas
Esferos	Marcador
Equipo de Laboratorio	
Estereo Microscopio USB PCE-MM 800	Multiparametrico HQ9908
Guantes quirúrgicos	Mandil

Fuente: Elaboración Propia

Método

En la tabla 2 se mencionan las ecuaciones que se integran para el presente estudio, donde el objetivo es identificar las relaciones que pueden tener las variables físicas con los índices de diversidad y calidad de agua.

Tabla 2. Ecuaciones ejecutadas en base a los índices aplicados.

Índice	Ecuación Algebraica	Criterio
Shannon Wiener	$H = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$	Cuantifica la uniformidad de especies en una comunidad (Stalagos, 2022).
Fisher	$S = \alpha \ln[1 + (N/\alpha)]$	Modelo de abundancia que emplea el número de especies (S) y el número total de individuos (N) (Juárez, Herrera, Martínez, & Reyes, 2016).
Simpson	$D = \frac{\sum n(n-1)}{N(N-1)}$	Probabilidad de que dos individuos seleccionados aleatoriamente de una muestra pertenezcan a la misma especie/categoría (Briceño, 2021).
ABI	$ABI = \sum_{i=10} \text{Puntaje ABI por familia encontrada}$	Se construye asignando valores numéricos de 1-10 a cada familia registrada cuya categorización va desde 1(muy tolerante) hasta 10 (muy sensible), la suma de los puntajes de todas las familias encontradas equivale al puntaje ABI (Acosta, Ríos, Rieradevall, & Prat, 2009).
EVI	$EVI = \frac{2.5(NIR - RED)}{NIR + (C1 * RED) - (C2 * BLUE) + 1}$	Analiza zonas de tierra con grandes cantidades de vegetación donde hay mucha clorofila y con mínimos efectos topográficos, cuyo rango es de -1 a +1 para la vegetación sana que va de 0.2-0.8 (Earth Observing System, 2022)

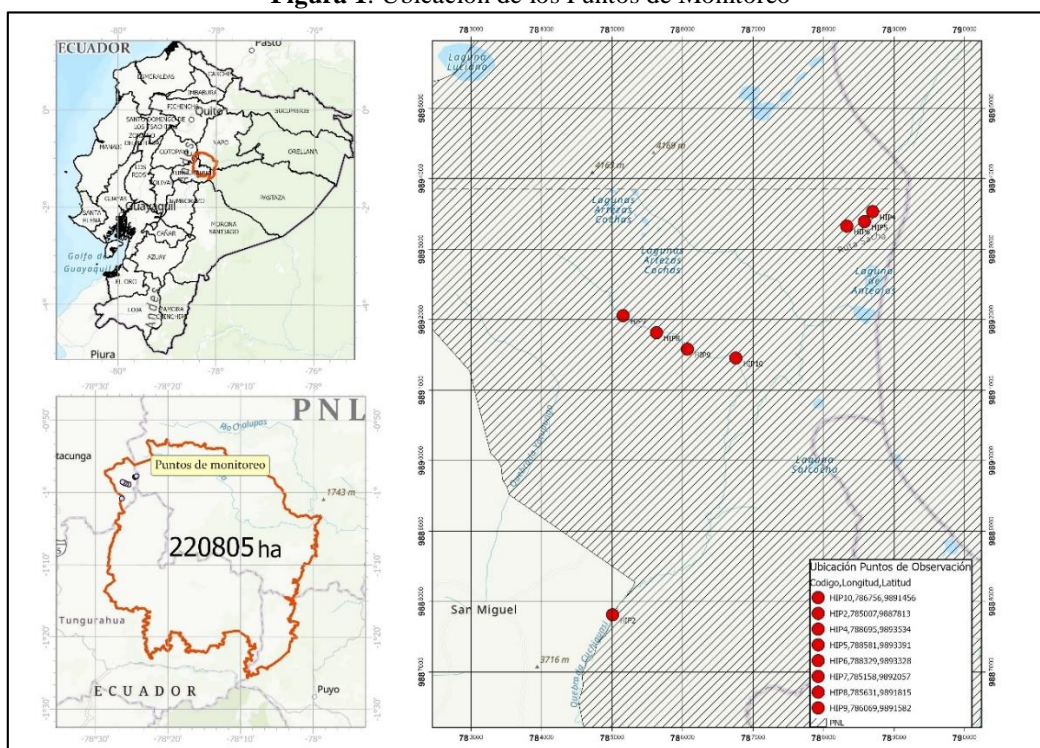
Fuente: Elaboración Propia

Identificación de puntos de monitoreo.

Se establecieron 8 estaciones de monitoreo a lo largo de la microcuenca del río Yanayacu dentro de un rango altitudinal comprendido entre los 3540 hasta los 4037 m. El muestreo sobre estas estaciones fue realizado en el período julio hasta septiembre del 2021, priorizando el área en términos de distancia e influencia de actividad antrópica, tramos de caminos rurales que facilitaron el acceso a los puntos de muestreo y cuerpos de agua.

Los tramos de análisis fueron de 100 metros a lo largo de la zona de la Quebrada de Cóndor Guayco, el cerro Verde Filo y la Laguna de Anteojos.

Figura 1. Ubicación de los Puntos de Monitoreo



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3. Georreferenciación de los puntos de monitoreo.

Altitud	Estación	Área	Coordenadas	
			Longitud	Latitud
3542	HIP2	Comunidad “San Miguel”	786756	989145 6
4002	HIP10	Herbazal Inundable del Páramo “río”	786069	989158 2
4007	HIP9	Herbazal Inundable del Páramo “río”	784136	989084 2
4008	HIP7	Herbazal Inundable del Páramo “río”	785158	989205 7
4009	HIP8	Herbazal Inundable del Páramo “río”	785631	989181 5
4023	HIP6	Herbazal Inundable del Páramo “río”	788581	989339 1
4032	HIP5	Herbazal Inundable del Páramo “Laguna de Anteojos”	788695	989353 4
4037	HIP4	Herbazal Inundable del Páramo “Laguna de Anteojos”	785007	988781 3

Fuente: Elaboración Propia

Recolección de las muestras para el análisis físico/químico

Se tomaron muestras simples por cada punto con ayuda del multiparamétrico para dar lectura a los distintos parámetros físico/químicos in situ para PH/T°/STD/CE/ORP en tres repeticiones a lo largo de julio-septiembre.

Recolección de las muestras para el análisis microbiológico

Se tomó 1 L de muestra por cada punto para e.coli/Coliformes Totales aplicando la NTE INEN 2169:2013 y NTE INEN 2176:98 realizando los análisis en el Laboratorio de Investigación y Análisis Ambiental “LIAA-GADMA” (EPA, 2017, pp. 1–8).

Recolección de muestras para los análisis de macro invertebrados

Se obtuvo un permiso otorgado por el SUIA (Ministerio del ambiente agua y transición ecológica, 2013, pp. 1–19) para extracción de especímenes y transporte de los mismos por un periodo de 4 meses. Se ejecutó un muestreo compuesto de 3 submuestras por punto en 3 repeticiones, dando un total de 72 submuestras utilizando la red surber y red tipo D, removiendo por 1 min alrededor de 1m² aguas arriba he incorporado el material removido dentro de la red para luego mediante el criterio de las proporciones de volumen fijo incorporar dentro de cada funda ziploc para posterior caracterización.

Caracterización de los especímenes recolectados

Para lo cual se extrajo el 5% de la submuestra en bruto para diluirla en agua sobre una bandeja blanca y extraer los macro invertebrados inmersos en ese 5%, previo a ello se desecha el porcentaje analizado y se repone otro 5% hasta analizar el 100% de la submuestra, se colocan los especímenes dentro del tubo Eppendorf con metanol al 70% para luego analizar contractualmente con ayuda de la bibliografía en torno a macroinvertebrados bentónicos de (Encalada, Rieradevall, Ríos, García, & Prat, 2011, p. 83) (Roldan, 1996, pp. 1–86) (Simms & Blaylock, 2002, pp. 1–2) mediante el uso del estereoscopio USB PCE MM-800 considerando el tamaño, cantidad y ubicándolos por familias.

Análisis Estadístico y Geoestadístico

Se determinó los índices de diversidad Simpson, Fisher, Shannon Wiener, además se aplicó R estudio para determinar la variación significativa existente entre todos los puntos referentes para parámetros físico/químicos/microbiológicos y un análisis de componentes principales.

Mediante un análisis geoestadístico determinístico (Trend Surface) se extrapolan datos de ABI, este método es utilizado cuando el parámetro que nos interesa estimar tiene una variación continua en el área de estudio, la cual, puede representarse mediante ecuaciones polinomiales, esta técnica estima valores a partir de las coordenadas x , y , mediante el uso de regresión múltiple $Z_{xy} = b_0 + b_1x + b_2y + \varepsilon$ (UNAM, 2011).

Donde b_0 es la ordenada al origen; b_1 es son los parámetros asociados a las variables explicativas, X , y Y son las coordenadas geográficas de ubicación del atributo; mientras que e es el error aleatorio.

Resultados

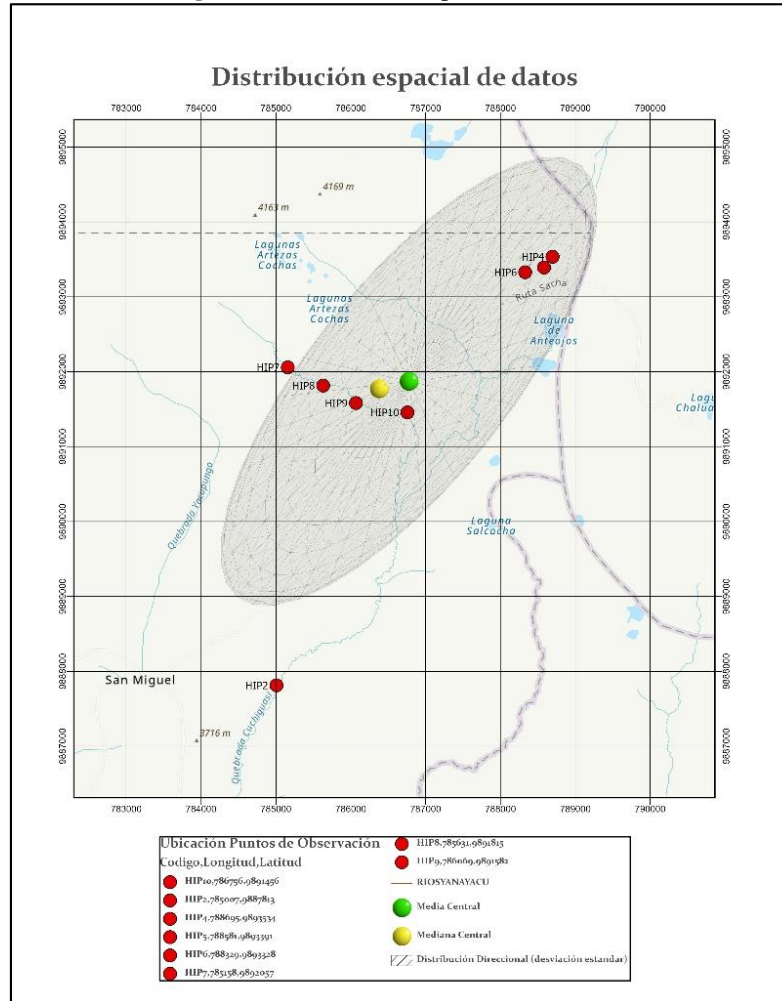
Distribución espacial de los datos

Se distribuyeron las estaciones de monitoreo en zonas de acumulación de agua y una zona agrícola para identificar el impacto generado por actividades agropecuarias.

Mediante un análisis estadístico del centro gráfico se identificó la media, mediana y distribución direccional estándar de los datos, con el objetivo de observar la variación de los datos geográficos. Como se observa en la Figura 2 se identificó una variación de datos en el eje de la Y , esto fue debido a que los puntos de monitoreo se realizaron río abajo.

Esta desviación estándar direccional identificó seis de los ocho puntos de monitoreo que se encuentran en la zona con un mejor modelado ya que se encuentra más del 95% de los datos.

Figura 2. Distribución espacial de los datos



Fuente: Elaboración Propia

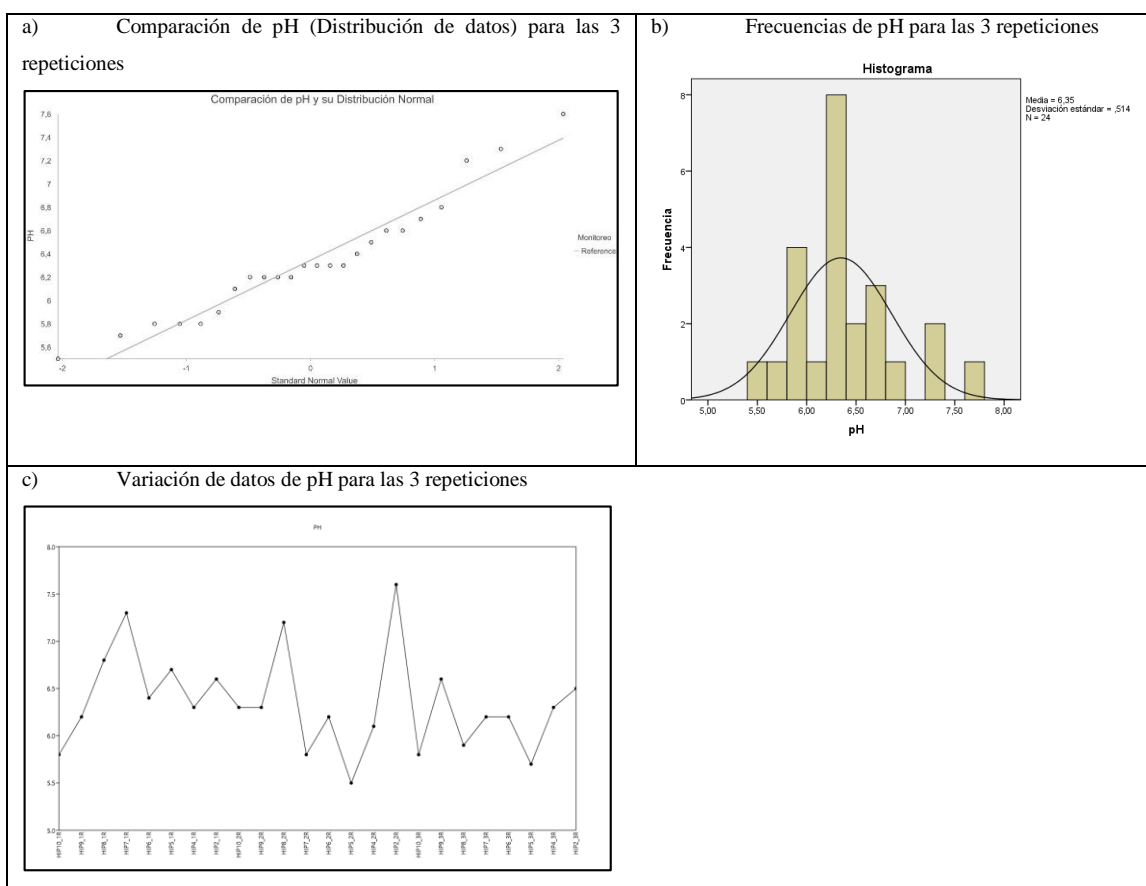
Como se observa en el Gráfico 1a los datos de pH cumplen una distribución normal para las tres repeticiones realizadas en los meses de junio-septiembre del 2021, sin embargo, hay que establecer rangos para identificar datos “anomalías” que no se encuentran bajo estándares de calidad de agua. En base a los datos obtenidos para parámetros físico/químicos/microbiológicos en contraste con la tabla 1 del anexo 1, libro VI del texto unificado de legislación secundaria 097-A para aguas de consumo existen anomalías para el punto HIP10 para pH que debería estar entre un rango de 6-9 y

en HIP5, HIP4, HIP2 para coliformes totales que deberían estar por debajo de las 1000 UFC/100 ml para la primera repetición.

Los resultados de pH en la segunda repetición en contraste con los de la primera repetición indican un incremento ya que para los puntos HIP7 y HIP5 excede a los límites permisibles para pH. Para los valores obtenidos a través de la tercera repetición observada en el gráfico 2 tenemos una disminución de la variable pH, estos valores no obedecen la normativa ya que para pH los puntos HIP10, HIP8 y HIP5 exceden a la normativa.

El valor de pH más frecuente observado en las tres repeticiones es el equivalente a 5,80 a 6,30 respectivamente como se observa en la gráfica 2b.

Gráfico 1 Estadística exploratoria de datos de pH



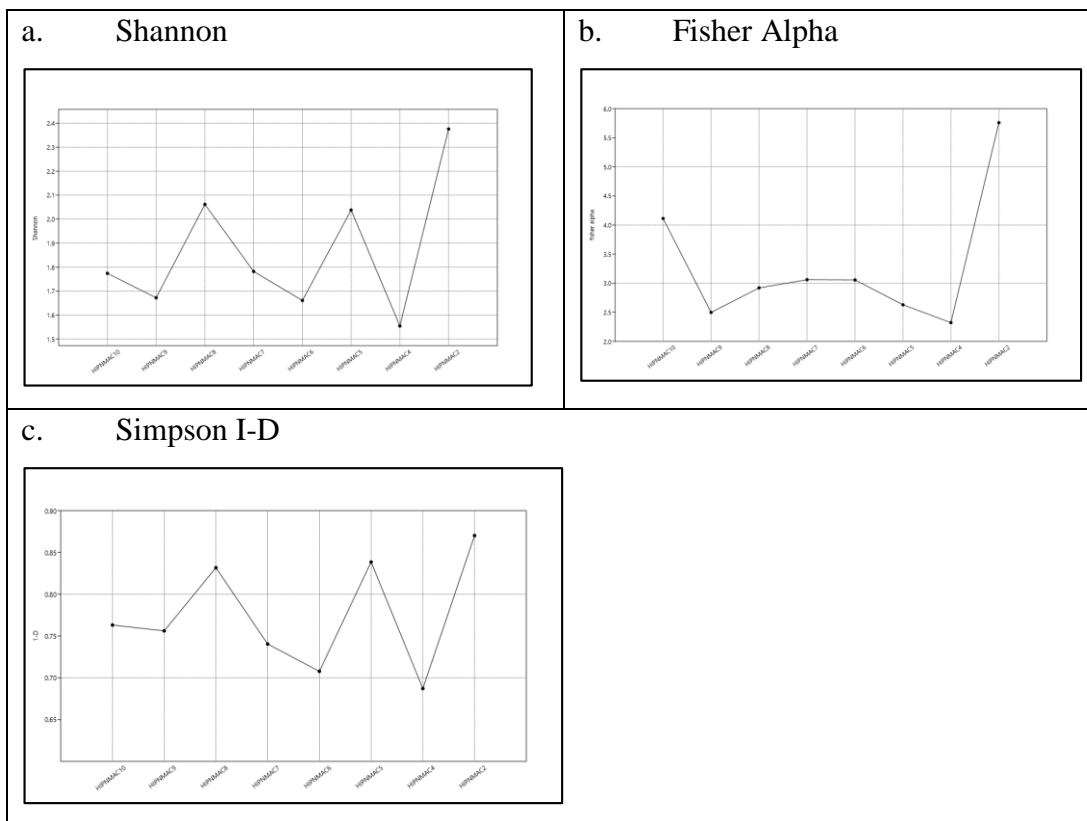
Fuente: Elaboración Propia

Resultado para Índices de Diversidad

Los resultados obtenidos para:

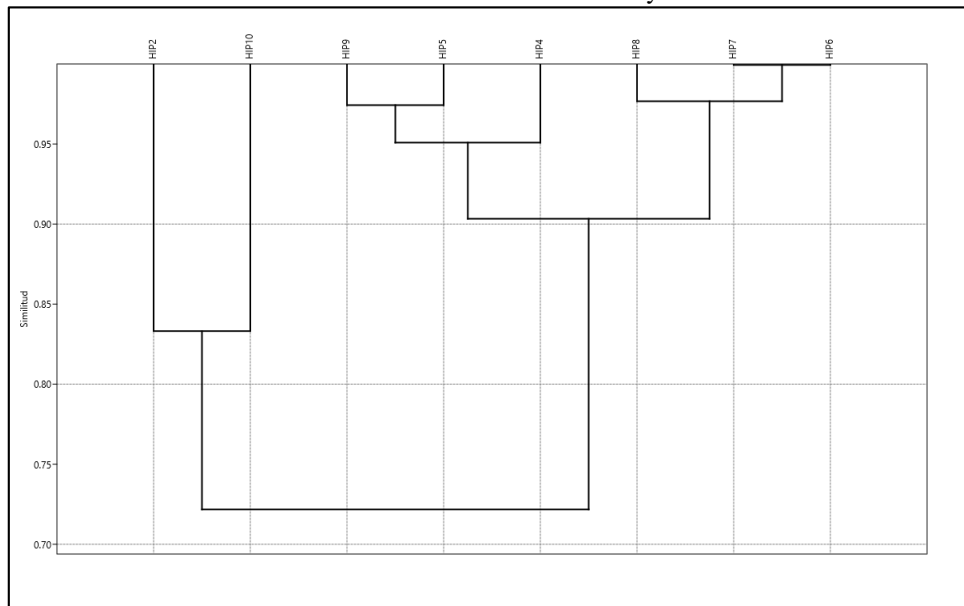
- Índice de Shannon-Wiener: Se identifican que para los puntos HIP8-HIP5-HIP2, son los sitios que presentan mayor diversidad.
- Índice de Fisher-alpha: Se identifica que para los puntos HIP2-HIP10 son los sitios que presentan mayor diversidad.
- Índice de Simpson: Se identifica para el punto HIP2 el cual refleja el valor de dominancia más alto, sin embargo todos los puntos mantienen valores altos por lo que no existe una brecha que dista entre todos los puntos de muestreo, para lo cual se ejecutó el inverso de Simpson para obtener una mejor interpretación ya que para valores altos se inclinan a tener una mayor dominancia y para valores bajos una menor dominancia y en efecto se establece que el punto HIP2 es el sitio que presenta mayor dominancia.

Gráfico 2. Índices de diversidad Alfa



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 3. Índice de similitud de Bray-Curtis



Fuente: Elaboración Propia

Mediante la identificación del índice de similitud de Bray-Curtis y la base de datos obtenida por el índice de diversidad alfa de Fisher se encontró similitudes en los puntos de monitoreo HIP 2 y HIP 10 como se observa en la gráfica 3, por otro lado, encontramos dos agrupaciones similares al HIP9, HIP5, HIP4 y el HIP8, HIP7, HIP6. La similitud que se puede observar es en relación al conteo observado en cada estación, por otro lado, se observa una semejanza del índice de Fisher con la vegetación circundante obtenido mediante EVI en las estaciones HIP2 y el HIP10.

Resultado para Índice ABI.

Para los valores de Índice Biológico Andino (ABI) arrojaron que los valores para los puntos HIP6, HIP5, HIP4 y HIP2 que son los valores más altos entre estos 8 puntos de monitoreo, mantienen valores cercanos al rango establecido en la tabla 3 facultada por (Acosta et al., 2009, pp. 35–64) entre 35-58 que corresponde a moderada de manera que estos se ubican en la zona prístina (HIP4, HIP5 para lentic) (HIP6 lotico) (HIP2 lotico/comunidad) por lo tanto los demás valores están por debajo de este rango de calidad.

Tabla 4. Grado de Calidad bajo el índice ABI.

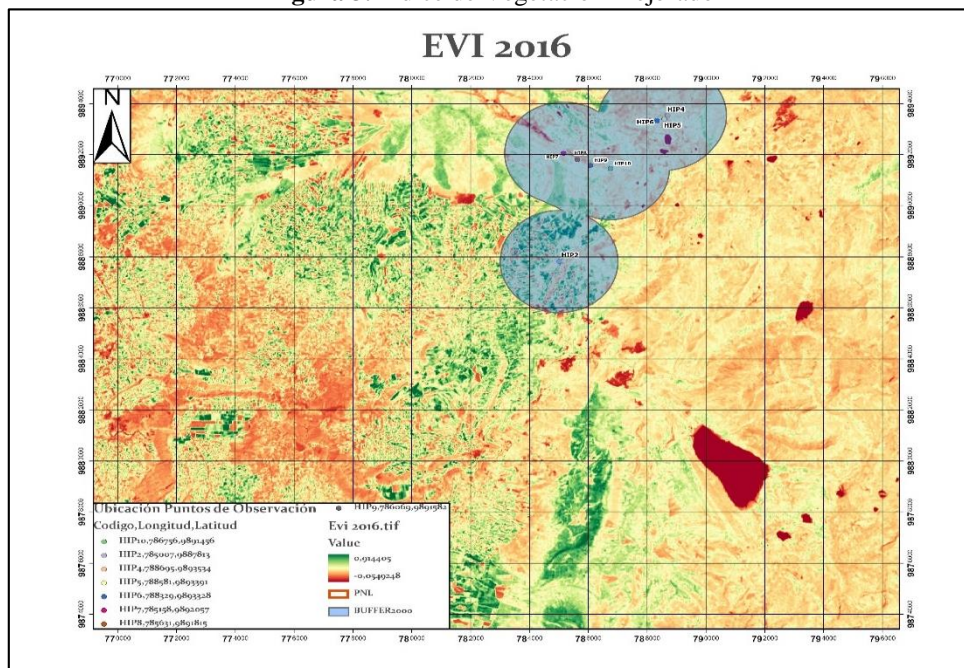
ABI	Calidad de agua ABI	Puntos de monitoreo
>96	Excelente	-
59-96	Buena	-
35-58	Moderada	HIPNMAC6, HIPNMAC5, HIPNMAC4, HIPNMAC2
<35	Mala	HIPNMAC10, HIPNMAC9, HIPNMAC8, HIPNMAC7
<14	Pésima	-

Fuente: Elaboración Propia

Cobertura de suelo EVI

Mediante la obtención de una imagen satelital LandSat correspondiente al año 2016 se procedió a las correcciones atmosféricas y radiométricas, para al final obtener un Índice (EVI) que nos ayuda a identificar las diferentes coberturas de suelo donde se obtuvieron las observaciones de macroinvertebrados, esto nos ayuda a identificar posibles relaciones con que tienen los índices de diversidad con la vegetación circundante.

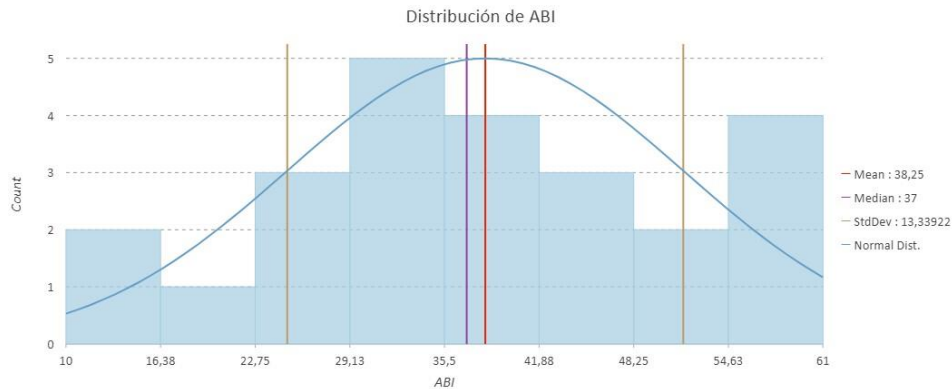
Figura 3. Índice de Vegetación Mejorado



Fuente: Elaboración Propia

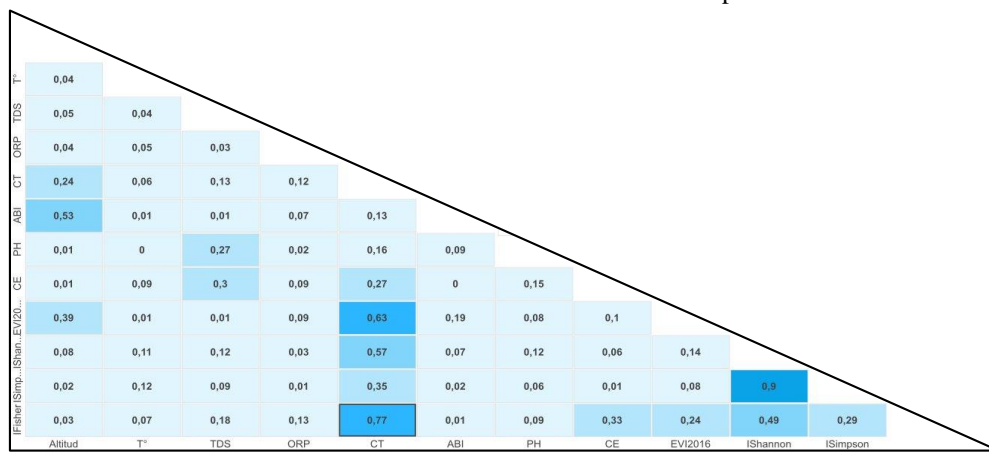
Posterior a la obtención de EVI se generó la siguiente información del coeficiente de correlación múltiple que nos indica la relación entre todos los datos observados. En la gráfica 5 se identifica un R^2 alto para el índice de diversidad de Fisher-alpha y Coliformes Totales, de igual forma se encontró una alta correlación entre Coliformes Totales con el índice de vegetación mejorado (EVI). Una vez establecido los valores de calidad de agua (ABI) se observa una distribución de datos normales (Gráfico 4), esto nos ayuda a tomar una decisión en la utilización del modelo geostadístico de trend surface, debido a que tenemos pocos datos en la zona de estudio y cumple el supuesto de normalidad. En el Gráfico 5 se logra observar una alta relación de Coliformes totales con el índice de Fisher.

Gráfico 3. Distribución de los datos ABI.



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4. Coeficiente de correlación múltiple



CT: Coliformes Totales, T°: Temperatura en grados Celsius, TDS: Total de Sólidos Suspendedos, ORP: Potencial Redox, ABI: índice biológico andino, PH: pH, CE: Conductividad Eléctrica, EVI 2016: índice mejorado de vegetación, IShannon: índice de diversidad de Shannon, ISimpson: índice de diversidad de Simpson, IFisher: índice de diversidad de Fisher.

Fuente: Elaboración Propia

Discusión

La modelización del índice de calidad de agua ABI se realizó mediante el método geoestadístico de tendencias de superficie ya que esta variable cumple con el supuesto de normalidad dando como resultado una menor calidad de agua en la zona sur oeste debido a la alteración de la vegetación por introducción de ganado bovino.

La cuantificación de la calidad de agua referente a los variables físico-químicas están por encima de la normativa entre el periodo julio-septiembre que corresponde a la época de transición entre lluviosa a seca, lo cual, detallan una atenuación en parámetros como pH/ Coliformes Totales por la disminución del caudal presente.

Tras la evaluación ejecutada para cada parámetro mediante la prueba ANOVA se detectaron diferencias significativas para TDS revelando la importancia que tienen las algas/diatomeas sobre la columna de agua en sistemas lóticos que inducen un incremento en estos valores sobre la condición natural a diferencia del tenue desarrollo de estas en sistemas lénticos al igual que para valores de CE que se encuentran relacionados con TDS presentan diferencias significativas en los mismos puntos donde los TDS las presentan, ya que la CE y los TDS se encuentran relacionados. Las diferencias proporcionadas por CT presentan grandes diferencias entre zonas aledañas (valores altos) a la comunidad y en zonas donde no existe una aparente antropologización (valores bajos), para lo cual expone Lynch y Poole (1979) valores de ORP son inversamente proporcionales a los valores de CT lo que corrobora con los datos obtenidos a partir de obtener el valor más alto de CT en el punto HIP2 y a su vez presente el valor más bajo para ORP de 234mV en promedio.

Conforme a los valores para riqueza se establecen para el punto HIP2 dando la mayor cantidad de taxones (riqueza) en cuerpos lóticos, esto se debe a que los sistemas ofrecen más hábitats y sustratos como detalla (Posada, Ramírez, Parra, 2008, pp. 441–455) (Muskó, 1992; Poi de Neif, 1992; Parsons & Matthews, 1995 en Poretti et al. 2003) a diferencia del punto HIP4 y HIP5 que debido a la mínima variación entre sustratos provenientes del cuerpo de agua mantiene los valores más altos para abundancia.

Conclusiones

A pesar de la reducida área y temporalidad de análisis se obtuvo un buen resultado ya que en observaciones directas se constató el impacto generado en la zona oeste de la laguna de anteojos.

La normativa para los resultados fisicoquímicos/microbiológicos señalan que existe una fuerte incidencia de carácter agropecuario que altera las condiciones iniciales del sector de la laguna de anteojos/ microcuenca río Yanayacu comprometiendo el abastecimiento de agua para consumo hacia la comunidad de “San Miguel de Salcedo” reflejado en altos valores para Coliformes Totales y que se relacionan con el índice de diversidad de Fisher que se incrementan paulatinamente en la época de transición hacia la época seca.

Los cambios estructurales en torno a morfo especies analizadas en las estaciones de referencia muestran patrones claros en el gradiente altitudinal con taxones que aparecen, desaparecen o disminuyen con mayor abundancia de especímenes que corresponden a sistemas lénticos (laguna de anteojos) y aquellos que manejan sistemas loticos (Microcuenca río Yanayacu) presentan mayor riqueza por lo que los valores de cantidad de materia orgánica son elevados infiriendo directamente con los criterios de diversidad y composición influenciado directamente por la calidad del recurso hídrico.

Referencias

1. Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M., & Prat, N. (2009). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Freshwater Ecology and Management*, 35–64.
2. Beltran Karla, Cuesta Francisco, Cardenas Adriana, León Susana, Ortiz Edwin, Romoleroux Katya, ... Velástegui Norma. (2010, December). Distribución espacial, sistemas ecológicos y caracterización florística de los páramos en el Ecuador.
3. BirdLife International y Aves y Conservación. (2014). Servicios Ecosistémicos del Parque Nacional Llanganates.
4. Briceño, K. (2021). Índice de Simpson: Fórmula, Interpretación y Ejemplo.
5. Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., & Hofstede, R. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.06.002>
6. Daza Fernando, Walteros Jeymy. (2015). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos de la calidad del agua en el Rio Gil González y tributarios más importantes, Rivas, Nicaragua. *Universidad y Ciencia*, 6(9), 38–46. <https://doi.org/10.5377/UYC.V6I9.1958>

7. Earth Observing System. (2022, February). Índices De Vegetación Y Su Aplicación En La Agricultura Digital.
8. Encalada, A., Rieradevall, M., Ríos, B., García, N., & Prat, N. (2011). *Limnología Ríos Andinos / PDF / La contaminación del agua / Ecología*. (R. Suarez, P. Lloret, & N. Puente, Eds.). Quito.
9. EPA. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd Edition.
10. Juárez, A., Herrera, N., Martínez, J., & Reyes, M. (2016). Diversidad y estructura de la selva mediana subperennifolia de Acapulco, Gro., México. *Revista Iberoamericana de Las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 5(10), 20.
11. Ministerio del ambiente agua y transición ecológica. (2022). AUTORIZACIÓN DE RECOLECCIÓN DE ESPECIMENES DE ESPECIES DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA No . 1550 ESTUDIANTES E INVESTIGADORES (SIN FINES COMERCIALES) 1 . - AUTORIZACIÓN DE RECOLECTA DE ESPECÍMENES DE ESPECIES LA DIVERSIDAD MAAE-ARFC-2021-1550 El Ministerio, (1550), 1–5.
12. Moniz, P. J., Pasternack, G. B., Massa, D. A., Stearman, L. W., Bratovich, P. M., Moniz, P. J., ... Stearman, L. W. (2019). Do rearing salmonids predictably occupy physical microhabitat? *Journal of Ecohydraulics*, 0(0), 1–19. <https://doi.org/10.1080/24705357.2019.1696717>
13. Posada, J., Ramírez, G., & Parra, L. (2008). DIVERSIDAD DE LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS DEL PÁRAMO DE FRONTINO (ANTIOQUIA, COLOMBIA) Diversity of Aquatic Macroinvertebrates of Páramo de Frontino (Antioquia, Colombia). *Caldasia*, 30(2), 441–455.
14. Roldan, G. (1996). *Guia para el Estudio de los Macroinvertebrados Acuaticos del Departamento de Antioquia*. (M. Ojeda & A. Estrada, Eds.), <https://doi.org/10.2307/1467503> (FEN Colombia, Vol. 8). Bogota: FEN COLOMBIA. <https://doi.org/10.2307/1467503>
15. Simms, R., & Blaylock, A. (2002). Aquatic Macroinvertebrate ID Key. *NRMEducation*.
16. Stalogos. (2022). ▷ Índice de diversidad de Shannon: definición y ejemplo en 2022 → STATOLOGOS®.

17. UNAM. (2011). *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales* (Segunda Ed). México. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Ileana-Ortegon-Aznar/publication/323202595_Ortegon-Aznar_I_L_Collado-Vides_G_Montejano_Zurita_e_I_Sanchez-Molina-_2011_Algas_cap_11_293-330_pp_en_Bautista-Zuniga_F_2011Tecnicas_de_Muestreo_para_manejadores_de_recursos_naturales/links/5a85e04c0f7e9b1a9548647b/Ortegon-Aznar-I-L-Collado-Vides-G-Montejano-Zurita-e-I-Sanchez-Molina-2011-Algas-cap-11-293-330-pp-en-Bautista-Zuniga-F-2011Tecnicas-de-Muestreo-para-manejadores-de-recursos-naturales.pdf#page=723
18. Villamil, G. (2020). *ESTADO DE LA MODELACIÓN Y LA ADQUISICIÓN DE GEODATOS EN ECOHIDRÁULICA: UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA*. Antioquia-Colombia. Retrieved from http://tesis.udea.edu.co/bitstream/10495/15547/1/VillamilGilberto_2020_EstadoGeodatosEcohidraulica.pdf
19. Yao, W. (2020). Ecohydraulic model development and application : Evaluating the habitats and population of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), brown trout (*Salmo trutta*), and flannelmouth sucker (*Catostomus latipinnis*) in Colorado River. *Global Ecology and Conservation*, e01060. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01060>