



Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Sede Ibarra

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES

INFORME FINAL DEL PROYECTO

TEMA:

“Evaluación de la calidad de las vertientes que alimentan el lago San Pablo”

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO AMBIENTAL

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Gestión Sostenible y aprovechamiento de los recursos naturales

SUBLINEA:

AUTOR: Esteban Daniel Ramos Marroquín

ASESOR: Mgs. Paola Alexandra Chávez Guerrero

Ibarra, 08 de julio de 2024

Ibarra, 08 de julio de 2024

Paola Alexandra Chávez Guerrero

ASESOR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigente en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA), de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI); en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



(f).....

Paola Alexandra Chávez Guerrero

C.C.: 1002744090

PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI):



(f).....

Paola Alexandra Chávez Guerrero

C.C.: 1002744090



MVZ. Mónica Patricia Velástegui Moreno

C.

C.: 0503323024



(f).....

Rubén del Toro Déniz

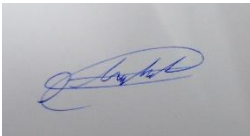
C.C.: 175754447-1

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo Esteban Daniel Ramos Marroquín, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 de Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: “Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derecho de disponer de sus derechos o autorizar de sus obras o prestaciones, a título gratuito u oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia”.

Ibarra, 08 de julio de 2024

f):

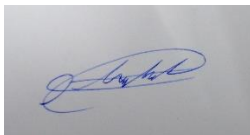


Esteban Daniel Ramos Marroquín

1004793301

AUTORÍA

Yo, Esteban Daniel Ramos Marroquín, portador de la cédula de ciudadanía N°1004793301, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.



f):

Esteban Daniel Ramos Marroquín

1004793301

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

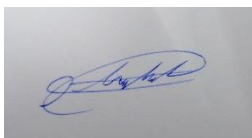
Yo, Esteban Daniel Ramos Marroquín, con C.C.: 1004793301, autor del trabajo de grado intitulado: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS VERTIENTES QUE ALIMENTAN EL LAGO SAN PABLO previo a la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental, en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCESI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Ibarra, 08 de julio de 2024

f):



Esteban Daniel Ramos Marroquín

1004793301

DECLARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ÉTICO EN LA ELABORACIÓN, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Por medio de la presente declaro conocer y aplicar en la elaboración, desarrollo y evaluación de Proyecto de Titulación: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS VERTIENTES QUE ALIMENTAN EL LAGO SAN PABLO, lo propuesto en el Código de Ética de la investigación y el aprendizaje de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, aprobado por el Consejo Superior de la PUCE con fecha 08 de diciembre de 2023.

Para constancia firma:

f): 

Esteban Daniel Ramos Marroquín
Estudiante que ejecuta el trabajo de Titulación
C.C/ Pasaporte: 1004793301
Carrera: Ingeniería Ambiental

Ibarra, 11 de diciembre de 2023

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a mi madre Amparito y a mi padre Carlos, que siempre han sido un apoyo incondicional en toda vida académica, siendo un pilar fundamental en todo este proceso y que gracias a su amor, sacrificio, comprensión y apoyo durante esta etapa en mi vida

A mi hermana Karla, a mis sobrinos Emilia, Diego y Ezequiel que siempre me han apoyado y dado fuerzas para seguir adelante y lograr culminar esta gran etapa en mi vida

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme la vida y salud que me han permitido seguir adelante

A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador por abrirme las puertas y acogerme en tan maravillosa institución para formarme tanto académicamente como en valores que son útiles a lo largo de la vida

A la Msc. Paola Chávez que me ha guiado durante todo este proceso de titulación, y ha sido un apoyo fundamental en el desarrollo de este trabajo de titulación

A mis amigos tanto dentro de la universidad como fuera, que de una u otra manera me han motivado y apoyado para seguir en pie durante mi vida académica

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	8
AGRADECIMIENTO.....	9
ÍNDICE.....	10
ÍNDICE DE TABLAS.....	12
ÍNDICE DE FIGURAS.....	13
ÍNDICE DE ANEXOS.....	14
RESUMEN.....	15
ABSTRACT.....	16
CAPÍTULO I.....	17
INTRODUCCIÓN.....	17
CAPÍTULO II.....	19
OBJETIVOS.....	19
2.1. Objetivo general.....	19
2.2. Objetivos específicos.....	19
2.3. Hipótesis.....	19
CAPÍTULO III.....	20
ESTADO DEL ARTE.....	20
3.1. Lagos altoandinos.....	20
3.1.1 Calidad de agua de lagos altoandinos.....	21
3.1.2. Lago San Pablo.....	22
3.1.3. Afluentes del lago San Pablo.....	24
3.2. Bioindicadores.....	26
3.2.1 Tipos de bioindicadores.....	27
3.2.2. Importancia de los bioindicadores acuáticos.....	28
3.3. Macroinvertebrados.....	29
3.3.1. Macroinvertebrados bentónicos.....	30
CAPÍTULO IV.....	32
MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
4.1. Equipos, materiales, insumos.....	32
4.1.1. Equipos.....	32
4.1.2. Materiales e insumos.....	32

4.2. Métodos.....	32
4.2.1. Descripción del área de estudio.....	33
4.2.2. Aplicación del índice SVAP (Stream Visual Assessment Protocol).....	34
4.2.3 Colecta de macroinvertebrados.....	35
4.2.4 Aplicación de índice ABI.....	36
4.2.5 Identificación y valoración de actividades antrópicas.....	37
4.2.6 Medición de parámetros fisicoquímicos.....	38
4.2.7 Aplicación de entrevista	39
4.2.8 Propuesta de estrategias para un manejo sostenible de vertientes	39
CAPÍTULO V.....	40
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
5.1. Evaluación de calidad del agua de las vertientes con índice ABI.....	40
5.2 Abundancia de macroinvertebrados.....	42
5.3. Índice SVAP.....	48
5.4. Parámetros físico químicos.....	51
5.5. Matriz de Leopold para identificar actividades antrópicas.....	53
5.1.1. Estrategias para un manejo sostenible de vertientes.....	60
CAPÍTULO VI.....	64
CONCLUSIONES.....	64
CAPÍTULO VII.....	65
RECOMENDACIONES.....	65
CAPÍTULO VIII.....	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
ANEXOS.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Categoría del estado de un río según puntuaciones del índice ABI	37
Tabla 2. Puntuación para cada actividad en relación con el factor ambiental implicado para cada una	38
Tabla 3. Calificación de la suma total del impacto agregado de cada actividad, dando un impacto total sobre la vertiente	38
Tabla 4. Índice ABI de la vertiente de Sumak Yaku por muestreo	41
Tabla 5. Índice ABI de la vertiente de El Poggio por muestreo	42
Tabla 6. Índice ABI de la vertiente de Hatun Pukyo por muestreo	43
Tabla 7. Índice SVAP por vertientes	50
Tabla 8. Valores de parámetros fisicoquímicos realizados in situ y en laboratorio	53
Tabla 9. Matriz de Leopold adaptada implementada en la vertiente Sumak Yaku	55
Tabla 10. Matriz de Leopold adaptada implementada en la vertiente El Poggio	56
Tabla 11. Matriz de Leopold adaptada implementada en la vertiente Hatun Pukyo	58
Tabla 12 Estrategias para un manejo sostenible de vertientes	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de las vertientes en estudio	35
Figura 2. Abundancia de macroinvertebrados por familia de la vertiente Sumak Yaku por muestreo	45
Figura 3. Abundancia de macroinvertebrados por familia de la vertiente El Poggio por muestreo	47
Figura 4. Abundancia de macroinvertebrados por familia de la vertiente Hatun Pukyo por muestreo	48

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Entrevista realizada al director del departamento de gestión ambiental del GAD de la ciudad de Otavalo	75
Anexo 2. Puntuaciones ABI por familia	78
Anexo 3 Tabla de puntuación del índice SVAP	78
Anexo 4. Puntuación final de calidad de ecosistema del índice SVAP	80
Anexo 5. Abundancia de macroinvertebrados muestreados en los dos muestreos en las vertientes en estudio	81
Anexo 6 Índice SVAP por cada vertiente con ambas calificaciones	82
Anexo 7. Registro fotográfico	85

RESUMEN

El siguiente trabajo de titulación se centró en realizar una evaluación detallada de la calidad de las fuentes de agua que alimentan el lago San Pablo, situado en el Cantón Otavalo, en la Provincia de Imbabura, Ecuador. El estudio se focalizó en tres vertientes Sumak Yaku ubicado en la Parroquia de Araque, El Poggio ubicado en la Parroquia de San Pablo y Hatun Pukyo que se encuentra en la Parroquia de San Rafael. Para llevar a cabo esta evaluación, se utilizaron métodos tanto descriptivos como analíticos. Entre estos, un análisis de la calidad del agua con macroinvertebrados como bioindicadores acuáticos mediante el índice ABI y el estado del ecosistema con el Índice SVAP y análisis de diversos parámetros fisicoquímicos del agua. Para analizar las actividades antrópicas que se desarrollan en la vertiente se adaptó una matriz de Leopold para cada vertiente y se efectuó una entrevista al encargado del Departamento de Gestión Ambiental del GAD de la ciudad de Otavalo. Los resultados revelaron que las vertientes Sumak Yaku y El Poggio presentaban una calidad de agua moderada, mientras que Hatun Pukyo exhibía una calidad deficiente. Según el índice ABI estado de calidad tanto de la vertiente de Sumak Yaku y El Poggio se encuentran en un estado moderado, mientras que la vertiente de Hatun Pukyo tiene un estado malo. En cuanto a las actividades antrópicas se identificó que actividades de lavado de chochos, usos turísticos de la vertiente, abrevadero y lavado de vísceras tienen un grado alto de impacto. Con estos resultados se formularon estrategias de manejo y conservación adecuadas para la región, resaltando la restauración de vegetación ribereña, charlas de concientización a la población de los alrededores y el control de un buen manejo de desechos como las estrategias más importantes.

Palabras clave: Vertientes, índice ABI, índice SVAP, calidad del agua, actividades antrópicas

ABSTRACT

The following degree work focused on a detailed evaluation of the quality of the water sources that feed San Pablo Lake, located in Otavalo Canton, in the Province of Imbabura, Ecuador. The study focused on three springs: Sumak Yaku located in the Araque Parish, El Poggio located in the San Pablo Parish and Hatun Pukyo located in the San Rafael Parish. Both descriptive and analytical methods were used to carry out this evaluation. Among these, an analysis of water quality with macroinvertebrates as aquatic bioindicators using the ABI index and the state of the ecosystem with the SVAP Index and analysis of various physicochemical parameters of the water. To analyze the anthropogenic activities in the watershed, a Leopold matrix was adapted for each watershed and an interview was conducted with the person in charge of the Environmental Management Department of the Otavalo City Council. The results revealed that the Sumak Yaku and El Poggio watersheds had moderate water quality, while Hatun Pukyo exhibited poor quality. According to the ABI index, the quality status of both the Sumak Yaku and El Poggio watersheds is moderate, while the Hatun Pukyo watershed has a poor status. In terms of anthropogenic activities, it was identified that activities such as washing chochos, tourist uses of the watershed, watering and washing of viscera have a high degree of impact. With these results, appropriate management and conservation strategies were formulated for the region, highlighting the restoration of riparian vegetation, awareness-raising talks to the surrounding population, and the control of good waste management as the most important strategies.

Keywords: Watersheds, ABI index, SVAP index, water quality, anthropogenic activities

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En el contexto mundial, los lagos son un importantes a nivel de conservación de especies endémicas, sin contar su participación en la regulación económica (Granados, et al., 2003). En estos sistemas acuáticos existe un aumento demográfico considerable que poco a poco crece tanto a las orillas de la laguna como en sus afueras, perdiendo la armonía con el entorno natural y paisajístico (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Otavalo, 2020)

El Lago San Pablo tiene una gran importancia a nivel social, ya que representa una fuente purificadora y un componente femenino dentro de la cosmovisión de la población indígena kichwa (Flores, 2007), Además, es un componente económico sobresaliente para la población local, ya que a través del turismo se capta grandes cantidades de ingresos para las comunidades de sus alrededores, realizando actividades como venta de artesanías, paseos en lancha y hospedaje y demás servicios (Hidalgo D., 2023)

En cuanto a temas ecológicos, De La Cruz (2024), menciona que el lago San Pablo es un ecosistema que alberga gran cantidad de especies acuáticas y terrestres, pero existe un gran deterioro debido a factores antrópicos.

Cabe mencionar que la convención Ramsar reconoce la importancia del lago San Pablo, nombrándolo como un sitio de interés ambiental y científico significativo, teniendo un valor ecológico importante, de lo cual surge la necesidad de aplicar medidas para su conservación (Ramsar, 2014)

El lago ha sufrido de un deterioro rápido, causado por combinaciones de algunos factores como el crecimiento desmedido de la población, aumento de viviendas desordenado, actividades turísticas comunes en la zona, y costumbres de la gente local, que generan contaminación (Rivadeneira, 2015)

La calidad del agua que ingresa al lago tiene una importancia sobresaliente, ya que esto influye directamente en la salud del lago y la preservación del ecosistema. Las vertientes son fuentes naturales de alimentación del lago, por lo que el estado en el que se encuentren impacta de

manera directa a la calidad del agua que fluye hacia el lago (Jumbo & Campoverde, 2012). Si se mantiene un correcto equilibrio en las aguas que ingresan al lago, se favorecen las regulaciones de temperatura, oxígeno disuelto, pH, nutriente, conductividad eléctrica y a las comunidades acuáticas (Baldeón & Rodrigo, 2018).

La presente investigación tuvo como objetivo la evaluación de las vertientes que actúan como afluentes del lago San Pablo en la Provincia de Imbabura en Ecuador, haciendo uso de índices bióticos y evaluando la contaminación causada por actividades humanas entre elementos que permitieron analizar el estado de las vertientes.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar la calidad del agua de los principales afluentes del lago San Pablo

2.2. Objetivos específicos

- Analizar la calidad del agua de las vertientes mediante macroinvertebrados como bioindicadores
- Identificar actividades antrópicas cercanas a los afluentes del lago San Pablo
- Proponer estrategias de manejo sostenible de los afluentes del lago San Pablo

2.3. Hipótesis

¿Cuál es la calidad del agua de las vertientes afluentes del lago San Pablo?

CAPÍTULO III

ESTADO DEL ARTE

3.1. Lagos altoandinos

Los lagos altoandinos son sistemas lénticos que tienen flujos continuos de agua, estos a diferencia de otros sistemas, no tienen grandes variedades de microhábitats si los comparamos con sistemas loticos, a las orillas del lago suelen ser aguas someras que por lo general tienen plantas creciendo en el fondo, por lo que se genera una especie de pantano alrededor de las orillas (Moreno, Quintero & López, 2010).

Estos lagos usualmente suelen encontrarse en altiplanos andinos, o en regiones montañosas de los Andes, caracterizándose principalmente por su altitud elevada, teniendo la característica de ser cuerpos que agua aptos para navegar (Gunkel, 2003), estos lagos suelen tener extensiones y profundidades considerables, esto se debe a que tienen un origen complejo, con tectónica de placas y actividades volcánicas, situándose en cuencas tectónicas o en antiguos cráteres de volcanes (Ramsar & EHAA, 2008).

Estos lago suelen tener una función como reguladores ecológicos, mediante mecanismos como la regulación térmica, ya que estos lagos tienen por lo general temperaturas bajas por su altitud, influyendo en la biodiversidad de especies, actividad metabólica (Casallas & Gunkel, 2021), entre otras, la regulación de los nutrientes es otro mecanismo importante, ya que nutrientes como el fósforo y el nitrógeno son esenciales para el crecimiento de algas y fitoplancton, la presencia de estos nutrientes en los lagos altoandinos suele estar asociada a su ubicación geográfica (Rascón, et al., 2021), y la interacción biológica con especies propias del lago que suelen tener un efecto regulatorio, ya que pueden darse eventos como la depredación y simbiosis de especies, influyendo directamente en la cadena trófica del lago (Granados, et al., 2023).

Los lagos altoandinos son piezas esenciales para el desarrollo de los sistemas hidrográficos y cuencas andinas, ya que en el recorrido sus aguas suelen alimentar a partes de la Amazonía; estos lagos son hogar de especies que enriquecen su biodiversidad, ya sea con especies endémicas de plantas y animales, actuando también como refugio y estancia para aves migratorias (Ramsar, 2008).

Estos lagos suelen estar ubicados en regiones de páramo, jalca o puna, conformando ecosistemas con gran variedad de ambientes que concuerdan con el tipo y origen que se comprende como lagos de agua dulce (glaciares, volcánicos y tectónicos), salares, lagunas saladas, lagunas salobres, bofedales, turberas, aguas termales entre otros. Y cada uno tiene un tipo de vegetación variada, entre las que se encuentran totorales, vegas, chuscales y vegetación específica de cada zona (Ospina, 2019).

3.1.1 Calidad de agua de lagos altoandinos

La calidad del agua de los lagos altoandinos tiene una gran relevancia a nivel de ecosistema y población, porque en caso de que el agua de un lago se degrade, la actividad biológica bajará, el daño en el ecosistema sería inmenso y la pérdida de actividades realizadas dentro y a los alrededores del lago se verían afectadas (Arboleda, 2016).

Un estudio realizado por Rojas, et al. (2021), tuvo como objetivo caracterizar el agua de los lagos Tunants y Yahuahua para conservar el ambiente acuático. En la investigación se establecieron dos puntos de muestreo, uno por cada lago, y se evaluaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos durante la temporada lluviosa. Los resultados principales indican que ambos lagos presentaron un pH de 7. Se encontró que en el lago de Tunants la mediana fue de 1.8 mg/L de O₂, mientras que en el lago de Yahuahua la mediana fue de 1.45 mg/L de O₂, correlacionándose negativamente con los sulfatos. Respecto a los metales pesados, se observó que la mayor concentración fue de Zinc, con 0.0375 ppm en el lago de Yahuahua.

En el estudio se menciona que la presencia de microorganismos indicadores de contaminación fecal y otros patógenos en el agua representa un riesgo significativo para la salud de las personas que utilizan estos recursos hídricos, ya sea para consumo humano, recreación u otras actividades, pudiendo causar enfermedades como gastroenteritis y hepatitis, especialmente en comunidades que dependen directamente de estos lagos, por lo que se sugieren medidas que sean capaces de mitigar la contaminación del agua para preservar la salud humana y la integridad del ecosistema acuática.

3.1.1.1 Parámetros fisicoquímicos que intervienen en la calidad de agua de un lago

Aspectos como la temperatura, pH, oxígeno disuelto, turbidez, conductividad eléctrica, DBO, metales pesados, etc., son algunos parámetros que se consideran esenciales para la determinación y monitoreo de la calidad de agua de un lago, ya que estos aspectos reflejan aspectos referentes a la contaminación, presencia de nutrientes y sobre todo a la actividad biológica que se puede considerar idónea para que el agua se encuentre en buen estado (Godoy, 2022).

Algunas de las alteraciones que puede sufrir un entorno acuático por la alteración de parámetros fisicoquímicos varían como el aumento de la turbidez debido a aumento de sedimentación, aumento de eutrofización debido a variaciones de niveles de oxígeno, mayor toxicidad para especies nativas por variaciones de valores de pH, etc. (Moreno & Grey, 2011)

3.1.2. Lago San Pablo

Los lagos altoandinos son potenciales para el crecimiento demográfico humano, además de la conservación de especies endémicas de los lugares donde se encuentren este tipo de lagos. Se encuentran ubicados en regiones altas en la parte de la cordillera de los Andes, representando hábitats que albergan gran cantidad de biodiversidad de especies que se adaptan a las condiciones que en muchas ocasiones suelen ser de extremo frío, además de que mantienen un equilibrio ecológico y garantizan agua para las poblaciones locales (Arellanes & Ayala, 2021)

El Lago San Pablo es uno de ellos, ubicado en el Cantón Otavalo, que está siendo afectado por las actividades antrópicas que se desarrollan a sus alrededores, y en sus afluentes, lo que modifica considerablemente los valores físico-químicos y las comunidades acuáticas (Ruiz & Guerrero, 2019)

El nombre con el que es conocido en las comunidades aledañas al lago es Imbakucha, esta palabra proviene del vocablo prekichwa “Imba” que significa preñadilla, que es un tipo de pez propio de la región de los andes y la palabra “Kucha” que significa cocha o lago, conociéndolo por los antepasados como el lago de preñadillas (Proyecto Geoparque Imbabura, 2017).

La composición de los lagos altoandinos como el lago San Pablo, dependen del grado de eutrofización del que esté presente en el cuerpo de agua, según un estudio de Cuarán & Ruiz (2019), el lago San Pablo se encuentra en un estado mesotrófico, que presenta poblaciones naturales de peces, plantas y macroinvertebrados, teniendo también una variada biodiversidad por su gran extensión y ambiente heterogéneo, lo que genera condiciones aptas para la permanencia y supervivencia de formas de vida.

Los ecosistemas lacustres, como el Lago San Pablo, tienen un papel importante en el equilibrio ecológico, debido a su importancia en la biodiversidad, ya que estos ecosistemas tienen una gran cantidad de organismos, pasando desde microorganismos hasta peces, que mantienen una estabilidad dentro de la cadena trófica (Arellanes & Ayala, 2021).

Estos lagos además suelen actuar como almacenadores o sumideros de carbono, ya que su vegetación acuática permite absorber el CO₂ mediante el proceso de fotosíntesis de las plantas, convirtiéndolo en biomasa y siendo temporalmente almacenado dentro de los sedimentos del lago, esto dependiendo de la producción primaria que tenga el lago, la gestión de la cuenca en la que se encuentre y las actividades tanto naturales como antrópicas que afecten a la producción primaria del lago (Calderón, 2018).

3.1.2.1. Actividades antrópicas en el contorno del lago San Pablo

El Lago San Pablo y sus alrededores son entornos muy importantes para la actividad económica y productiva de Otavalo. Las políticas y proyectos municipales promueven el desarrollo de infraestructura cerca del lago que no afecte mucho al paisaje, lo que fortalece la economía de la zona, también los parques ecoturísticos alrededor del lago, que se conectan a través de vías ecológicas tienen planes de control ambiental para las partes involucradas (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Otavalo, 2020)

En San Pablo del lago existen varias actividades turísticas, entre las más destacadas están los paseos en lancha y barcazas hechas de totora, además de gastronomía típica de la zona, comercio de vestimentas típicas y artesanías creadas por personas de las comunidades aledañas y deportes acuáticos extremos desarrollados dentro del propio lago (Ramos, 2021)

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Otavalo (2020), en la zona de San Pablo del lago existen varias actividades antrópicas como venta de alimentos, ropa y construcciones de viviendas que desentonan el entorno paisajístico, avanzando de a poco hacia la laguna, los dueños de predios cercanos a las orillas, rellenan las partes pantanosas de lago para destinar el predio para la construcción o para ganadería.

Cabe mencionar que Sánchez (2024), menciona que la producción agrícola es una actividad relevante en el contorno del lago San Pablo, lo que influye en el desarrollo del ecosistema, tomando como evidencia terrenos baldíos destinados a la agricultura en las orillas del lago.

3.1.2.2. Usos de comunidades, sociales, turísticos

Otavalo es el cantón que tiene mayor actividad turística dentro de la Provincia de Imbabura, ya que existen atractivos turísticos reconocidos a nivel mundial y local, entre los que se mencionan la cascada de Peguche, el lago San Pablo, el parque Cóndor, entre otros, las actividades turísticas son un pilar fundamental para la economía local (Lisiardi, 2013)

Mediante la investigación de Coronel & Socola (2022), se evaluó la situación económica del lago San Pablo haciendo énfasis en las actividades turísticas, en las que se encuentran hospedaje en hosterías, cabalgatas, caminatas, alimentación, muchos de los visitantes son extranjeros, además de los turistas que provienen de provincias de la Sierra y la Costa.

Las comunidades se han visto preocupadas por la preservación de los recursos hídricos que alimentan el lago San Pablo, ya que es alarmante la contaminación en el lago, esto causado por actividades turísticas y los habitantes de las comunidades aledañas, por lo que se ha visto necesario la fundamentación de un proyecto de ordenanza municipal para prevenir el deterioro de alimentadores del lago San Pablo (Yaselga, 2019)

3.1.3. Afluentes del lago San Pablo

Estos afluentes representan fuentes de agua que nutren el cuerpo de agua receptor y pueden transportar consigo sedimentos, nutrientes y otros elementos. Los afluentes desempeñan un papel esencial en los sistemas de ríos y cuerpos de agua, ya que contribuyen al ciclo hidrológico y al transporte de materiales en el entorno natural (Hernández, Pinedo & Marrugo, 2021).

Las vertientes o afloramientos del lago San Pablo principalmente son destinadas a uso doméstico, toma de agua para ganadería y para riego. En la zona plana del Itambi el agua proviene de vertientes que están situadas entre los 2650 a 3820 m.s.n.m., siendo aproximadamente un total de 55 afloramientos de agua (Inuca, et al., 2002).

El Lago San Pablo tiene varias vertientes que actúan como afluentes del mismo, pero las vertientes que aportan más cantidad de agua son las vertientes de Hatun Yaku, El Poggio, Apangora, Hatun Pukyo, entre otras vertientes que son de menor caudal que las antes mencionadas (Guaña, 2019).

3.1.3.1. Actividades antrópicas cercanas a los afluentes del lago San Pablo

Araque, es la vertiente principal del lago San Pablo, en ella existe una gran variedad de actividades turísticas que afectan la calidad del agua, una de las que más altera es el lavado de ropa, baños y lavado de chochos que ocurre durante toda la semana. En los fines de semana las actividades turísticas se incrementan, con ventas ambulantes, actividades deportivas y demás (Guevara, et al., 2003)

Otra vertiente ese “El Poggio” se han evidenciado la intervención humana, lo que han generado un impacto significativo en el río, tales como actividades turísticas y urbanísticas, como lo son el lavado de ropa y posterior liberación de compuestos químicos procedentes de jabones como surfactantes (Pazmiño, 2016).

Los sitios de visita se encuentran en los alrededores de toda la cuenca de Imbakucha, presentándose manifestaciones culturales de todo tipo, como de índole religioso, alimentación, pastoreo, mitología tradicional y etc. Realizados por personas locales, y otras culturas de zonas específicas como los otavaleños y cayambeños, pertenecientes a la cultura mestiza en su mayoría, que visitan los sitios de industria manufacturera con telares tradicionales, presenciándose también el alcance de exportación, como en el caso de la comunidad de Ucsha (Inuca et al., 2002).

El lavado de chochos en las corrientes de agua, liberan algunos contaminantes como los residuos de pesticidas o fertilizantes químicos, ya que el chocho es tratado con pesticidas durante su cultivo, quedando en la superficie del grano, liberándose durante el lavado; otro contaminante

liberado son los microorganismos patógenos, ya que muchas veces los granos no se almacenan de manera correcta, podrían contener patógenos como bacterias o virus, además de contaminantes como metales pesados (Chuquilla, 2023), siendo una fuente de contaminación para los afluentes del lago San Pablo, ya que se realizan en los nacimientos de las vertientes, como es el caso de Hatun Yaku y Hatun Pukyo (Cachimuel, 2018).

3.2. Bioindicadores

A partir de los años 60, se denota una creciente degradación ambiental percibida a nivel mundial, desde esa fecha se han impulsado procesos de cambio de pensamiento mundial y las formas en que la sociedad interactúa con la naturaleza, por lo que se generan leyes que promueven el equilibrio ecológico y protección del ambiente, en este apartado entran los bioindicadores, gracias a que su presencia se identifica la calidad de un ecosistema (Perevochtchikova, 2013).

Se debe ser muy cauto a la hora de la selección de bioindicadores acuáticos, ya que se debe tomar en cuenta la abundancia, la sensibilidad que tiene a los cambios ambientales, ser fácilmente visibles, y conocer su ecología y su ciclo de vida, ya que mientras más esté ligado su rango de tolerancia, mayor será su utilidad como un bioindicador (Tenjo & Cárdenas, 2015).

Los bioindicadores son organismos vivos que son comúnmente utilizados como referencias para realizar estudios de calidad ambiental de un ecosistema, la importancia de estos bioindicadores radica en su sensibilidad al cambio en el ambiente donde se encuentren, proporcionando información que da una idea del estado de conservación del medio donde se encuentren, ya sea terrestre o acuático (Tenjo & Cárdenas, 2015).

Los bioindicadores actúan como señales de algún tipo de impacto ambiental negativo que esté afectando seriamente en la preservación de hábitats o cambios en la biodiversidad, permitiendo a los técnicos monitorear y tomar medidas correctivas para proteger el ecosistema donde se hayan encontrado estas anomalías (Sánchez, 2023).

Entrando al contexto del desarrollo sostenible que se orienta a la utilización y preservación de entornos acuáticos, los bioindicadores cumplen un rol en la utilización de un recurso, como agua o suelo, estos bioindicadores tienen necesidades específicas tanto físicas como químicas, y alguna variación en los parámetros antes mencionados, señalen la presencia o no de estos bioindicadores (Gamboa, Reyes & Arrivillaga, 2008).

3.2.1 Tipos de bioindicadores

Organismos como lombrices y hongos son bioindicadores de la calidad del suelo, ya que se relacionan directamente con la biomasa y la actividad de comunidades microbiana, teniendo un enorme potencial para ser usados como herramientas monitorizadoras de procesos de fitorremediación, ya que se pueden evaluar los efectos que tiene un proceso de fitoextracción de suelos contaminados con metales pesados sobre la calidad del suelo donde se han extraído (Garbisu et al., 2007).

Un estudio de Apaza en 2015 señala que los *lepidópteros* son aptos para evaluar el grado de amenaza que los bosques húmedos de las localidades de San Miguel del Bala y La Esmeralda tienen debido a la expansión de la frontera agrícola y ganadera, concluyendo que los cambios en el bosque primario tiene una relación directa con la biodiversidad original de comunidades de *lepidópteros*, considerando medidas para que se mitiguen estos efectos, aplicando políticas de manejo sostenible de bosques primarios.

El uso de bioindicadores acuáticos es muy popular, debido a su grado de abundancia y diversidad en el agua, así lo evidencia Cheneaux (2014), utilizando bioindicadores acuáticos para determinar el estado ecológico de 2 lagunas del Santuario Nacional Lagunas de Mejía, concluyendo que la laguna de Mejía tiene un estado de calidad de agua buena, y la laguna Boquerón tiene un estado de calidad de agua dudosa, teniendo alrededor de 14 bioindicadores tolerantes de agua dudosa, siendo los más presentes los moluscos, dípteros y coleópteros.

En ámbitos metropolitanos, los líquenes son usados como bioindicadores debido a su capacidad de reflejar la calidad del aire y la presencia de contaminantes atmosféricos en entornos más urbanos y con presencia de actividad humana, Roig, et al. (2010) expone un estudio sobre la utilización de estos líquenes para determinar la presencia de metales pesados en el aire en la ciudad de Valencia, teniendo como resultados una contaminación abundante de Cd, Cu, Mo y Sb, proveniente de industrias agrícolas, cerámica y automotriz, esto debido a que se encontraron en los líquenes valores mucho mayor a los que debe tener el aire en una zona urbana

3.2.1.1 Bioindicadores acuáticos

Los bioindicadores acuáticos son pequeños organismos que usualmente viven en ambientes como ríos, lagos o lagunas, estos organismos acuáticos comenzaron a ser usados en el siglo XIX, investigadores como Kolenati (1848) y Cohn (1853) fueron los primeros en establecer una relación entre estas especies y la calidad del agua, siendo Alemania el primer país en desarrollar un sistema llamado “saprobio”, que fue adaptado posteriormente en más países, ya en Norteamérica se desarrollaron métodos para evaluar condiciones ecológicas de ríos haciendo uso de macroinvertebrados como bioindicadores de la presencia de contaminación en un flujo de agua natural (Roldán, 2016).

Los bioindicadores más utilizados para la evaluación de los ecosistemas acuáticos sobresalen los invertebrados bentónicos, gracias a que estos poseen ventajas si los comparamos con otros miembros de la biota acuática, estando presentes en todos los sistemas acuáticos continentales, lo que facilita su comparación, además de que por su sedentarismo se evaluaría con mayor eficacia los efectos de impacto ambiental y los muestreos (Tenjo & Cárdenas, 2015).

Estos bioindicadores tienen sensibilidad a ciertos compuestos como los metales pesados, un bioindicador acuático como lo es la *Physa venustula* puede ser afectada por el boro, presentando alteraciones morfológicas como un desarrollo lento y anomalías en la concha, la *Xenopus laevis* experimenta deformaciones en el saco vitelino y su pigmentación se ve reducida, evidenciando que el boro es un compuesto de alto riesgo ecotóxico, evidenciado gracias a la alta sensibilidad de los bioindicadores acuáticos ante cambios en la composición del medio acuático donde habitan (Delgado, 2022).

3.2.2. Importancia de los bioindicadores acuáticos

Los bioindicadores tienen gran importancia en lo que respecta a calidad ecológica de un cuerpo o flujo de agua, ya que son capaces de revelar los cambios en el medio ambiente tanto a largo como a corto plazo, todo dependiendo de sus ciclos de vida, que varían de entre semanas hasta un año, lo que hace posible que exista la posibilidad de realizar comparaciones en todo su ciclo vital y entendiendo el estado en el que se encuentra su hábitat (Tenjo & Cárdenas, 2015).

Al ser un tema llamativo a ojos del público, en algunas zonas de Colombia son usados como estrategias pedagógicas para el fortalecimiento de la consciencia ambiental, ya que son partes claves para analizar la diversidad biológica de los ecosistemas lacustres, la aplicación de estos bioindicadores debe ser considerados desde un enfoque técnico, científico y directo en las áreas de estudio como la minería ilegal, deforestación para ganadería y agricultura, llevando esta información a estudiantes para que comprendan el concepto de los bioindicadores y su importante presencia en cuerpos de agua (Muñoz, Oyaga & Troncoso, 2023).

3.2.2.1. Respuesta de bioindicadores ante contaminantes

Ante la presencia de contaminantes los bioindicadores tienen diversas respuestas, una de ellas es la respuesta fisiológica, mostrada como alteraciones en su aspecto, como respuestas enzimáticas o metabólicas, funcionando como mecanismo de defensa frente a la presencia y peligro que representa algún contaminante (Valdivia, 2023).

Debido a la exposición a contaminantes como pueden ser metales pesados, los bioindicadores pueden tener alteraciones en su comportamiento, ya que son vulnerables al estado en el que se encuentre su ambiente, una alteración significativa es la depredación entre ellos, esto a causa de un aumento en su agresividad con otros bioindicadores, por lo que se altera el equilibrio biológico del sitio donde se encuentran (Otero, et al., 2002).

3.3. Macroinvertebrados

Los macroinvertebrados de agua dulce presentan diversas adaptaciones y ciclos de vida, con algunos grupos completando su ciclo en el agua, como chinches, escarabajos, crustáceos, moluscos, sanguijuelas y planarias, mientras que otros, como *Ephemeroptera*, *Odonata*, *Plecoptera*, *Megaloptera*, *Trichoptera*, *Lepidoptera* y *Diptera*, tienen etapas terrestres como adultos. En pocos grupos, como *Dryopidae* y *Nematomorpha*, solo los adultos son acuáticos. El tiempo de desarrollo varía según la especie y factores ambientales, pudiendo durar desde semanas hasta varios años. En entornos tropicales, los ciclos de vida suelen ser "multivoltinos", con múltiples generaciones superpuestas a lo largo del año, mientras que en zonas templadas predominan los ciclos "univoltinos" o "semivoltinos", con una o dos generaciones anuales y una marcada estacionalidad en la emergencia de adultos (Hanson, Springer, & Ramirez, 2010).

Los macroinvertebrados que habitan en los ríos de montaña se distribuyen en distintos mesohábitats, como rápidos, rizos y pozas, cada uno con características geomorfológicas específicas que afectan la disponibilidad de hábitat y recursos. Por ejemplo, los rápidos se caracterizan por su alta velocidad y sustratos gruesos, mientras que los rizos son menos profundos y tienen una velocidad moderada. Las pozas, por otro lado, son más profundas y tienen menor velocidad de flujo. Estos organismos, principalmente artrópodos, forman comunidades sensibles a las variaciones ambientales y frecuentemente se utilizan como indicadores de la calidad del agua (López, Ríos & Gil, 2023).

3.3.1. Macroinvertebrados bentónicos

Los macroinvertebrados bentónicos son una subcategoría de macroinvertebrados que viven dentro de masas hídricas, tal como ríos y lagos, el término bentónico hace referencia a las zonas bentónicas que están al fondo de cuerpos acuáticos, esta categoría puede incluir a larvas, gusanos, entre otros (Domínguez & Fernández, 2009).

Estos macroinvertebrados son especialmente sensibles a las alteraciones que pueden presentarse en el agua, ya que su ciclo vital se ve relacionado con la calidad del agua, gracias a esta particularidad pueden usarse como bioindicadores de calidad, ya que su abundancia, diversidad y presencia nos da una idea del estado del afluente (Merino, et al., 2020).

La calidad del agua en sistemas acuáticos comúnmente se evalúa mediante parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, lo que da una referencia de su productividad y sostenibilidad en ese momento, de igual manera sus procesos biológicos y geológicos, pero gracias a diversos estudios a lo largo de la historia se han explorado nuevas alternativas, una de ellas es el uso de bioindicadores acuáticos, más en específico los macroinvertebrados bentónicos, ya que las alteraciones antrópicas afectan parámetros fisicoquímicos del agua, lo que genera una limitación considerable de las poblaciones de estos bioindicadores, haciendo posible conocer el grado de contaminación de ese sistema acuático (Pérez, et al., 2020).

Un estudio realizado por Vilca (2022), en Perú menciona que se han usado macroinvertebrados como indicadores de la calidad de algunos sistemas loticos, como el río Rimac, estos estudios

han demostrado que los macroinvertebrados bentónicos son una herramienta muy útil para la evaluación de la calidad del agua de los ríos.

Los macroinvertebrados bentónicos desempeñan un papel crucial dentro de la cadena alimenticia en los sistemas acuáticos, ya que son una fuente esencial de alimento para especies como peces y aves, al ser consumidos, estos transfieren energía a los demás niveles de la cadena alimenticia, aquí también radica su importancia como un bioindicador, ya que, si se llegasen a ausentar, la cadena trófica se rompería y existiría un desequilibrio ecológico en (Fernández, 2022).

3.3.1.1 Índices de calidad del agua que usan macroinvertebrados como bioindicadores

Mosquera (2008) indicó que se llevó a cabo un estudio en el río Cali, estableciendo ocho puntos de muestreo, tres en la parte superior en los corregimientos de Felidia y Pichindé, dos en la sección media, incluyendo el jardín botánico de Cali, y tres en la parte inferior en la zona urbana del municipio de Cali, utilizando macroinvertebrados recolectados y determinando el índice biótico BMWP (Biological Monitoring Working Party), revelando que en las partes altas y medias existían pocos signos de contaminación, mientras que en los puntos de la parte baja la calidad del agua disminuía considerablemente.

El índice EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera) es otro índice biótico que utiliza la presencia y abundancia de los órdenes de macroinvertebrados acuáticos, evaluando la calidad del agua, ya que estos organismos son sensibles a la contaminación, centrándose en estas tres familias (Zapata et al., 2024), por otro lado, el índice ABI es una adaptación del índice BMWP, ya que asigna un valor basándose en la tolerancia que tiene cada familia a la contaminación (Alomía et al., 2017).

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Equipos, materiales, insumos

4.1.1. Equipos

- Potenciómetro EXTECH modelo EC 400
- Conductímetro EXTECH modelo EC 400
- Medidor de oxígeno disuelto HANNA modelo HI9146
- GPS Garmian modelo GPSMAP 64
- Red tipo D
- Estereomicroscopio
- Colorímetro LaMotte modelo SMART3

4.1.2. Materiales e insumos

- Alcohol al 80%
- Pinzas entomológicas
- Envases de vidrio
- Cajas Petri
- Bandeja
- Guantes de látex
- Botas
- Tubos de ensayo
- Etiquetas

4.2. Métodos

Esta investigación es de tipo descriptiva y analítica, donde se levantó información en campo sobre el estado ecológico de las vertientes, se caracterizó a la comunidad de macroinvertebrados para usarlos como indicadores de calidad, clasificados taxonómicamente a nivel de laboratorio para determinar el índice de calidad del agua, además se levantó información a través de una entrevista al encargado del departamento de gestión ambiental del GAD de la ciudad de Otavalo,

con la finalidad de conocer si el municipio se encuentra implicado en la conservación de las vertientes del Lago San Pablo

La parte descriptiva de la investigación consiste en la revisión literaria sobre lagos altoandinos, calidad de agua, colecta e identificación de familias de macroinvertebrados, técnicas utilizadas para el uso de equipos de toma de datos y presentación de datos previamente obtenidos por muestreos y datos tomados in situ. En lo que concierne a la parte analítica, incluye el análisis de los datos que han sido tomados en campo, así como la evaluación biológica usando el índice ABI, el análisis de ecosistema SVAP, y su interpretación

4.2.1. Descripción del área de estudio

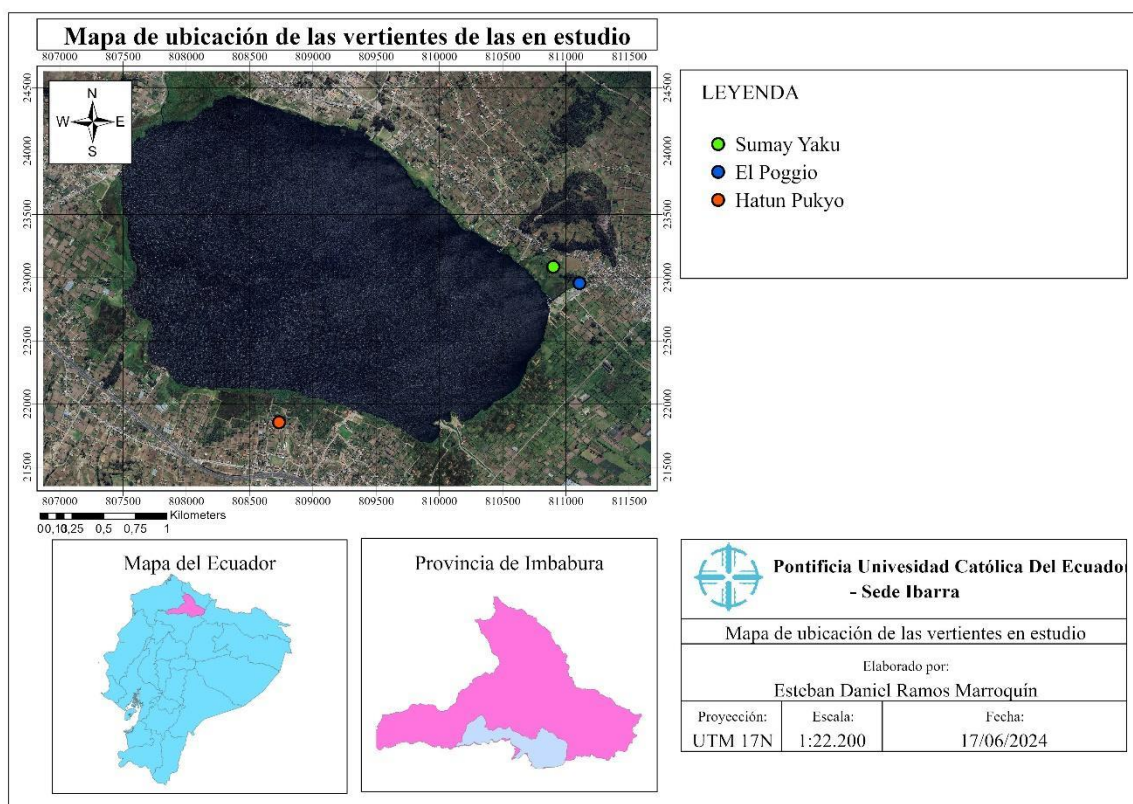
Este estudio se llevó a cabo en el lago San Pablo con un área de 606.28 ha aproximadamente, que se encuentra ubicado en el cantón Otavalo, provincia de Imbabura, en su contorno existen parroquias y comunidades como Eugenio Espejo, San Rafael, Gonzales Suarez, Araque, San Pablo entre otras pequeñas comunidades, con una población de 28,309 habitantes (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Otavalo, 2020)EL lago San pablo está ubicado en 2 660 msnm aproximadamente, sus coordenadas son 0°12'24.26" N y 78°13'40.20" W, contando con un total de 55 vertientes que alimentan dicho cuerpo de agua (Inuca, et al., 2002).

4.2.1.1 Descripción de las vertientes de estudio

En el presente estudio se escogieron tres vertientes, siendo estas: Sumak Yaku ubicado en la Parroquia de Araque, la vertiente de El Poggio, ubicada en la Parroquia de San Pablo y Hatun Pukyo ubicada en la Parroquia de San Rafael, debido a la cantidad de actividades antrópicas realizadas a lo largo de sus cauces, además de que éstas vertiente tienen un caudal significativo y se encuentran situadas cerca del contorno de la laguna (Figura 1).

Figura 1.

Mapa de ubicación de las vertientes en estudio



4.2.2. Aplicación del índice SVAP (*Stream Visual Assessment Protocol*)

La evaluación ambiental de los bosques que bordean los ríos es crucial porque nos permite comprender su estado ecológico, lo que a su vez nos habilita para proponer acciones de restauración y conservación. Hay diversas técnicas simples y rápidas para valorar estos bosques, muchas de las cuales se basan en métodos visuales (Matínez, et al., 2023). Para este estudio se empleó el protocolo SVAP nos ayuda a evaluar el hábitat físico de un río, esto mediante la asignación de un puntaje que va de 1 a 10 a quince parámetros que son Apariencia del agua (A), Sedimentos (B), Zona ribereña (C), Sombra (D), Pozas (E), Condiciones del cauce (F), Alteración hidrológica (G), Refugio para peces (H), Refugio para macroinvertebrados (I), Estabilidad de la orilla (J), Barrera al movimiento de peces (K), Presión de pesa (L), Presencia de desechos sólidos (M), Presencia de estiércol (N) y Aumento de nutrientes de origen orgánico (O), este protocolo debe realizarse con dos personas, que asignarán el puntaje que consideren

adecuado dependiendo del estado del ecosistema, esta es una metodología para la evaluación de un río mediano o pequeño (Mafla, 2005). Los valores asignados se encuentran colocados en los anexos.4.2.3. Colecta de macroinvertebrados con red tipo D

4.2.3 Colecta de macroinvertebrados

Se usó una red tipo D para la recolección de macroinvertebrados para su posterior análisis en laboratorio, esta red es la más empleada para capturar organismos acuáticos, debido a su facilidad para capturar y su movilidad, siendo el tamaño ideal de los poros de la red de 500 μm (García, et al., 2023), además, se realizaron 3 cuadrantes de un metro cuadrado en cada punto de muestreo para tener un esfuerzo de muestreo más homogéneo, además de la realización de 2 muestreos con separación de un mes con la finalidad de validar los hallazgos iniciales y asegurarse de que la presencia de algunos macroinvertebrados no sean eventos aislados.

4.2.3.1. Separación y preservación de macroinvertebrados

El material recolectado fue seleccionado en campo en una bandeja de color claro, con las pinzas entomológicas se retiraron los sólidos más grandes y colectaron los macroinvertebrados, para ser preservados (Hilaño, 2023).

Una vez realizadas las separaciones, se colocaron los macroinvertebrados en frascos de vidrio en alcohol con un grado de 80%, con el fin de su preservación para su posterior identificación de familias en el laboratorio (Rincón & Montoya, 2023).

4.2.3.2 Identificación de familias de macroinvertebrados

Se procedió a llevar las muestras al laboratorio de biología de la PUCE-I, para su identificación se vertió cada frasco de alcohol con macroinvertebrados en una caja Petri y con la ayuda de pinzas entomológicas se seleccionó uno por uno.

Para identificarlos taxonómicamente se hizo uso de un estereomicroscopio para ver sus características, y compararlos con guías específicas como la “Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia” que es una recopilación de macroinvertebrados acuáticos realizada por Roldan (1996).

4.2.4 Aplicación de índice ABI

El índice ABI es una tabla que permite clasificar la calidad ecológica de un sistema, que se apoya en el índice BMWP, que se aplica en ríos altoandinos superiores a los 2000 m.s.n.m., por lo cual es aplicable a las vertientes de estudio, ya que se encuentran a una altura de 2300 m.s.n.m. aproximadamente (Ríos, Acosta, & Prat, 2014).

Este índice clasifica a los macroinvertebrados según su familia y se da una calificación, para saber el estado de calidad de un sistema acuático, la puntuación va del 1 al 10 y se otorga basándose en la sensibilidad que cada familia de macroinvertebrados tiene ante el estado de la calidad de un río, la puntuación es alta mientras más sensible es el macroinvertebrado a la contaminación y es más baja cuando es resistente (Cárdenas, et al., 2018), la tabla de puntuación ABI para macroinvertebrados ha sido colocada a manera de anexos en la sección final de este documento.

La sumatoria de las puntuaciones otorgadas a cada familia, se compara con las categorías de calidad del agua (Tabla 1) que van desde una calidad muy buena siendo la más alta, hasta la categoría pésima que es la peor.

Tabla 1.

Categoría del estado de un río según puntuaciones del índice ABI

Categoría	Puntuación
Muy Bueno	> 96
Bueno	59-96
Moderado	35-58
Malo	14-34
Pésimo	< 14

Nota: Tomado de Navarrete, 2020

4.2.5 Identificación y valoración de actividades antrópicas

Para valorar el nivel de impacto de las actividades antrópicas que se registraron en las vertientes, se realizó una matriz de Leopold adaptada (Starck et al., 2023), en este caso se utilizó una única valoración por cada actividad en relación con el factor ambiental con el que interactúa, ya que no se tienen datos de incidencia y magnitud que son necesarios para una matriz de Leopold estándar, aunque se la tomó de referencia para la asignación de puntuaciones y valoraciones generales de impactos.

Tabla 2.

Puntuación para cada actividad en relación con el factor ambiental implicado para cada una

<hr/>	
Puntuación	
<hr/>	
1	Muy bajo
2	Bajo
3	Medio
4	Alto
5	Muy alto

Nota: Tabla tomada de Starck et al. (2023).

Una vez valorada la puntuación de la actividad con relación al factor ambiental que afecta, se usó de una tabla de impactos agregados generales, que ha sido adaptada para acoplarse a la metodología propuesta.

Tabla 3.

Calificación de la suma total del impacto agregado de cada actividad, dando un impacto total sobre la vertiente

Nivel de Impacto	Calificación
Irrelevantes	0 - 20
Moderados	21 - 40
Severos	41 - 60
Críticos	>61

Nota: Adaptado de Leopold et al. (1971).

4.2.6 Medición de parámetros fisicoquímicos

Se determinó las características fisicoquímicas de pH, conductividad, temperatura y oxígeno disuelto *in situ*, además se tomaron muestras de agua para analizar sulfatos en laboratorio. Para medir el pH y conductividad se usó el potenciómetro y conductímetro de marca EXTECH para las mediciones correspondientes en cada punto, se introdujo el electrodo del equipo directamente en el agua de la vertiente, y se esperó un lapso de tiempo hasta que el equipo se estabilice, para registrar los datos en los tres puntos establecidos y de esta manera obtener un promedio (Huamán, Delgado, & Medrano, 2016).

4.2.6.1 Oxígeno disuelto

Para medir el oxígeno se usó un medidor de oxígeno disuelto marca HANNA, que contiene una membrana que cubre el sensor polarográfico, antes de su uso el equipo se debe calibrar para una correcta medición, siguiendo el manual HANNA instruments (2011), se quitó la membrana y se la humedeció con la solución electrolítica HI – 7041, golpeando suavemente la base para que en la membrana no existan burbujas que alteren la medición, una vez comprobado se no existan burbujas de aire, se la colocó nuevamente en la sonda y se realizó 3 mediciones en cada punto de muestreo y se obtuvo un promedio general (Gómez, Baylon, Díaz, & Barrera, 2021).

4.2.6.2 Sulfatos

Para medir los sulfatos se siguió en protocolo del manual LaMotte, se colectó muestras de aguas en frascos, en los distintos puntos de muestreo antes identificados, para su preservación se los refrigeró hasta su posterior medición el mismo día, para su medición, se hizo uso de un blanco, para calibrar el equipo, luego se colocó 10 ml de cada muestra en un frasco de vidrio 0290, y se agregó 0.1 g de reactivo de sulfato (V-6277), luego se leyó en el colorímetro y se registró el resultado (Canestraci, 2023).

4.2.7 Aplicación de entrevista

Se realizó una entrevista al director de gestión ambiental del Gobierno Autónomo Descentralizado de la ciudad de Otavalo, con la finalidad de conocer que acciones o estrategias tiene el municipio que han sido o van a ser implementadas en el futuro, así también como la identificación de posibles amenazas que tengan las vertientes y si han existido acercamientos con las comunidades que viven alrededor de las vertientes y las actividades que estos realizan en las vertientes (Pantoja, 2023).

4.2.8 Propuesta de estrategias para un manejo sostenible de vertientes

Una vez concluido el muestreo de macroinvertebrados con su respectiva puntuación ABI, la aplicación del índice SVAP, la identificación y valoración de actividades antrópicas mediante una matriz de Leopold adaptada, el análisis de los parámetros fisicoquímicos y la entrevista al encargado de gestión ambiental del GAD de Otavalo, se procedió a analizar todos los resultados y a proponer estrategias para la conservación de las vertientes en base a la información obtenida, estas estrategias contendrán el objetivo que se espera alcanza, las actividades que se realizarían, el indicador que verificará si se están llevando a cabo las actividades propuestas, la duración y el responsable a cargo de la ejecución o supervisión de la estrategia.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Evaluación de calidad del agua de las vertientes con índice ABI

Se realizó una evaluación de calidad del agua de las distintas vertientes del lago San Pablo escogidas para el estudio, haciendo uso de macroinvertebrados bentónicos, de esta manera teniendo una puntuación ABI, arrojando los siguientes resultados:

Tabla 4.

Índice ABI de la vertiente de Sumak Yaku por muestreo

Sumak Yaku		
	Primer muestreo	Segundo muestreo
Familia	Puntuación n	Puntuación n
<i>Amphipoda</i>	6	6
<i>Astroblepus sp</i>	-	-
<i>Baetidae</i>	4	4
<i>Bivalvia</i>	-	3
<i>Chironomida</i>		
<i>e</i>	-	2
<i>Ostracoda</i>	3	3
<i>Gerridae</i>	5	5
<i>Hyrudinea</i>	3	3
<i>Hydrobiidae</i>	3	3
<i>Libellulidae</i>	6	6
<i>Limnaeidae</i>	3	3
<i>Oligochaeta</i>	1	1
<i>Planorbidae</i>	3	3
Total	37	42

En base a los resultados obtenidos de los dos muestreos realizados en la vertiente Sumak Yaku, obtuvimos dos puntuaciones, siendo de 37 en el primer muestreo y de 42 en el segundo muestreo, realizando un promedio entre los dos tenemos un resultado de 39.5, si lo comparamos con la tabla 1 correspondiente a la puntuación del índice ABI, podemos decir que la vertiente tiene un **estado Moderado**.

Tabla 5.

Índice ABI de la vertiente de El Poggio por muestreo

El Poggio			
	Primer muestreo	Segundo muestreo	
Familia	Puntuación	Puntuación	
	n	n	
<i>Amphypoda</i>	6	6	
<i>Astroblepus sp</i>	-	-	
<i>Baetidae</i>	4	4	
<i>Elmidae</i>	5	5	
<i>Gerridae</i>	5	5	
<i>Hirudinea</i>	3	3	
<i>Hydrobiidae</i>	3	3	
<i>Hydrophiilidae</i>			
<i>e</i>	3	3	
<i>Libellulidae</i>	6	6	
<i>Limnaeidae</i>	3	3	
<i>Oligochaeta</i>	1	1	
<i>Planorbidae</i>	3	3	
<i>Tipulidae</i>	5	5	
Total	47	47	

En base a los resultados obtenidos de los dos muestreos realizados en la vertiente El Poggio, obtuvimos dos puntuaciones, siendo de 47 en el primer muestreo y de 47 en el segundo muestreo, realizando un promedio entre los dos tenemos un resultado de 47, si lo comparamos con la tabla 1 correspondiente a la puntuación del índice ABI, podemos decir que la vertiente tiene un **estado moderado**.

En base a estos resultados y los de un estudio similar realizado por Villamarín (2008) existen similitudes en los ríos catalogados con un estado moderado, tales como el hallazgo de macroinvertebrados de la familia Amphypoda, Baetidae y Libellulidae, lo que corrobora lo encontrado en el muestreo

Tabla 6.

Índice ABI de la vertiente de Hatun Pukyo por muestreo

Hatun Pukyo		
	Primer muestreo	Segundo muestreo
Familia	Puntuación	Puntuación
	n	n
<i>Chironomidae</i>	2	2
<i>Hirudinea</i>	3	3
<i>Hydrophiilidae</i>		
<i>e</i>	3	-
<i>Libellulidae</i>	6	-
<i>Limnaeidae</i>	3	3
<i>Planorbidae</i>	3	3
<i>Tipulidae</i>	-	5
Total	20	16

En base a los resultados obtenidos de los dos muestreos realizados en la vertiente Hatun Pukyo, obtuvimos dos puntuaciones, siendo de 20 en el primer muestreo y de 16 en el segundo muestreo, realizando un promedio entre los dos tenemos un resultado de 18, si lo comparamos con la tabla 1 correspondiente a la puntuación del índice ABI, podemos decir que la vertiente tiene un **estado malo**.

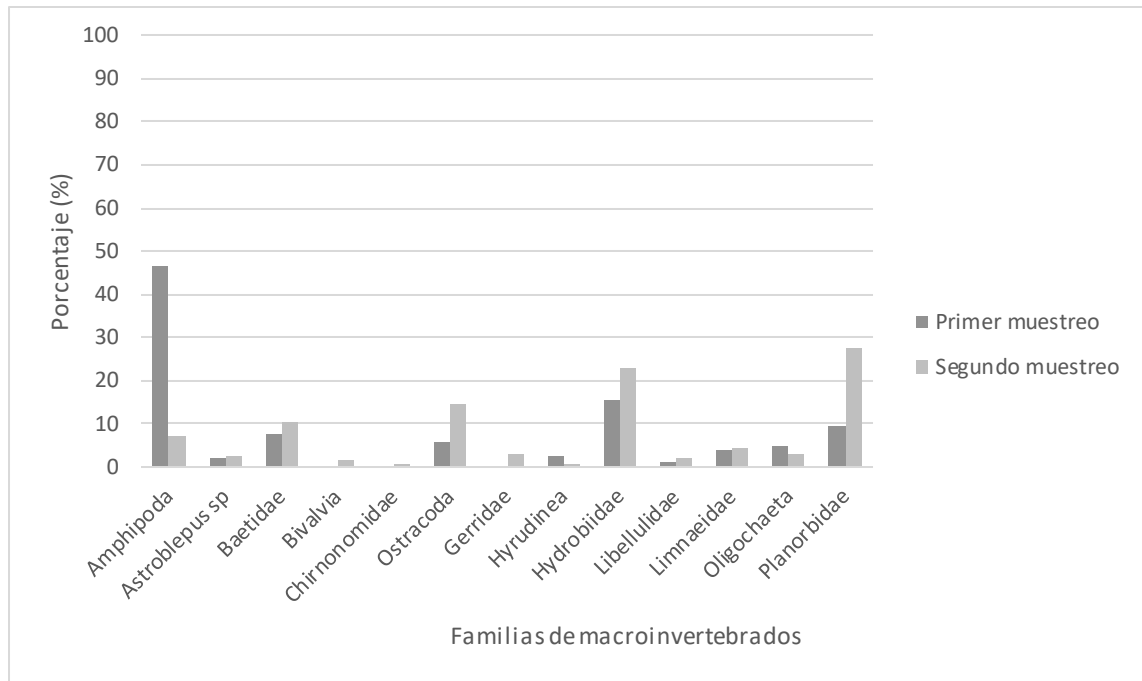
El análisis de los resultados indica que en la vertiente de Hatun Pukyo se identificaron pocos taxones en comparación a las otras dos vertientes, lo que, según Badillo, et al., (2016), es un indicador de que el agua se encuentra contaminada por actividades que se estén realizando dentro de la vertiente, influyendo de manera negativa en el desarrollo y supervivencia de comunidades de macroinvertebrados bentónicos que se encuentran en aguas de buena calidad, lo que concuerda con los resultados obtenidos mediante índice ABI.

5.2 Abundancia de macroinvertebrados

Se realizó una cuantificación del número de individuos por familia muestreados en las diferentes vertientes en estudio, arrojando los siguientes resultados:

Figura 2.

Abundancia de macroinvertebrados por familia de la vertiente Sumak Yaku por muestreo



En los muestreos realizados en la vertiente Sumak Yaku, se recolectaron 186 macroinvertebrados bentónicos en el primer muestreo, siendo los más abundantes los macroinvertebrados de la familia Amphipoda (46.77%), después Hydrobiidae (15.59%) y Planorbidae (9.68%), siendo los macroinvertebrados que tuvieron más presencia de entre las 11 familias registradas, mientras que en el segundo muestreo se registraron 244 macroinvertebrados bentónicos siendo los más abundantes la familia Planorbidae (27.45%) seguido de Hydrobiidae (22.9%) y Ostracoda (14.75%).

El taxón *Amphipoda* encontrado en el primer muestreo mostró una gran cantidad de individuos, mientras que tuvieron un descenso drástico en el segundo muestreo, esto puede deberse al aumento del caudal debido al aumento de las lluvias en el segundo muestreo, ya que no tienen una forma de adherirse de manera fija a rocas o superficies, cabe recalcar que estos macroinvertebrados tienen una alta sensibilidad a la contaminación (Cujano, 2019), por lo que es una buena señal su hallazgo en esa cantidad de individuos, ya que indica que el agua de la vertiente no se encuentra en un estado de contaminación tan severo.

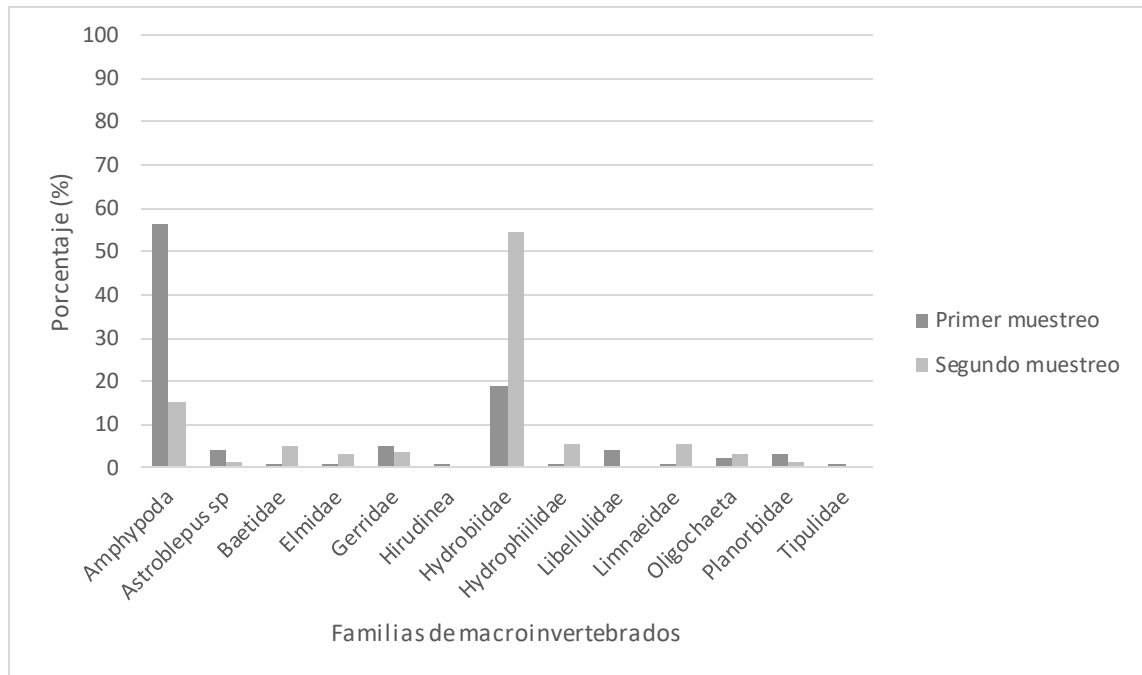
Siguiendo con el taxón Planorbidae fue el caso contrario al taxón anterior, ya que se encontraron relativamente pocos en el primer muestreo, mientras que en el segundo muestreo se encontraron en mayor cantidad, esto puede deberse a que el muestreo haya coincidido en un pico alto en el ciclo reproductivo de los mismos, así como lo indica Pascual, Iannacone, & Alvaríño (2019), de la misma manera Cujano (2019) indica que estos caracoles son pertenecientes a aguas que se encuentran en un estado de calidad moderado, correspondiendo al índice ABI de la vertiente.

El tercer taxón más encontrado fue el Hydrobiidae, teniendo mayor presencia en el segundo muestreo que en el primero, siguiendo el caso de la familia Planorbidae, al ser caracoles, se adhieren muy bien a rocas y sedimentos, por lo cual el aumento del caudal no sería una respuesta a su variación de abundancia, lo que sería más válido sería atribuirlo a un pico en su reproducción (Coaquira, 2022), además de que el mismo estudio resalta que esta familia de macroinvertebrados habitan en aguas limpias o moderadamente contaminadas, ya que son capaces de tolerar niveles medio-altos de eutrofización.

El taxón Ostracoda fue el cuarto de mayor abundancia en los muestreos, teniendo valores un poco más homogéneos en lo que se refiere a individuos encontrados, estos macroinvertebrados tienen una extensa tolerancia a distintos niveles de contaminación, lo que incluye hábitat con altas cargas orgánicas, por lo que no son muy aceptables para bioindicadores, aunque tienen preferencias en aguas limpias y oxigenadas (Barba, 2009), por lo que comprobamos que su encuentro va acorde con los resultados del índice ABI.

Figura 3.

Abundancia de macroinvertebrados por familia de la vertiente El Poggio por muestreo



En los muestreos realizados en la vertiente El Poggio, se recolectaron 186 macroinvertebrados bentónicos en el primer muestreo, siendo los más abundantes los macroinvertebrados de la familia Amphypoda (56.26%), después Hydrobiidae (18.75%) y Gerridae (5.20%), siendo los macroinvertebrados que tuvieron más presencia de entre las 12 familias registradas, mientras que en el segundo muestreo se registraron 157 macroinvertebrados bentónicos siendo los más abundantes la familia Hydrobiidae (54.78%), después Amphypoda (15.29%) y Limnaeidae (5.73%)

El taxón *Amphypoda* encontrado en el primer muestreo mostró una gran cantidad de individuos, mientras que tuvieron un descenso en el segundo muestreo, esto puede deberse al aumento del caudal debido al aumento de las lluvias en el segundo muestreo, cabe recalcar que estos macroinvertebrados tienen una alta sensibilidad a la contaminación (Cujano, 2019), por lo que es una buena señal su hallazgo en esa cantidad de individuos, ya que indica que el agua de la vertiente no se encuentra en un estado de contaminación tan severo.

El segundo taxón más encontrado fue el Hydrobiidae, teniendo mayor presencia en el segundo muestreo que en el primero, al ser caracoles, sería válido atribuirlo a un pico en su reproducción

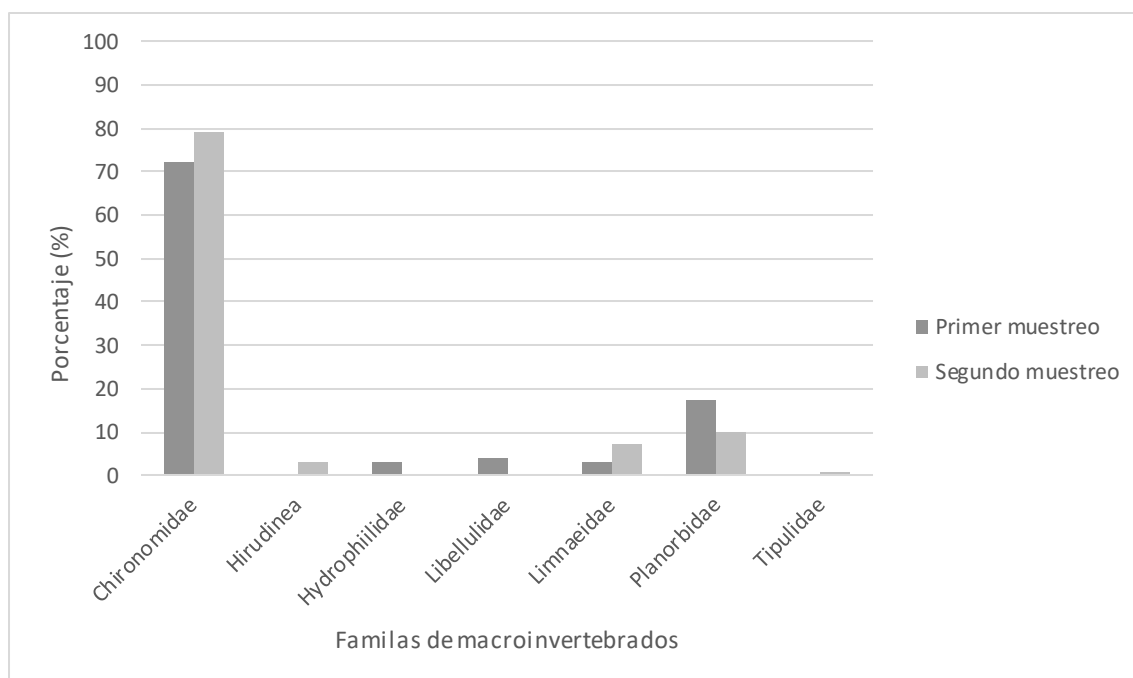
(Coaquira, 2022), además de que el mismo estudio resalta que esta familia de macroinvertebrados habita en aguas limpias o moderadamente contaminadas, ya que son capaces de tolerar niveles medio-altos de eutrofización.

La familia Gerridae fue la tercera en tener más presencia, presentando valores casi iguales de individuos en los muestreos, estos macroinvertebrados son principalmente encontrados en aguas que tengan una buena oxigenación, aunque según Waha, et al., (2017) la familia Gerridae puede tolerar contaminación moderada en su habitat, aunque usualmente se lo puede encontrar en aguas no contaminadas, lo que va acorde con los resultados del muestreo.

Como la cuarta familia más abundante en el muestreo se encuentra la Limnaeidae, siendo un caracol que se encuentra presente en aguas de calidad variada, estando en aguas contaminadas como limpias, por lo que según (Cujano, 2019) no son tan buenos indicadores de calidad de agua, lo que concuerda totalmente con la posición y la evaluación ABI de la vertiente El Poggio.

Figura 4.

Abundancia de macroinvertebrados por familia de la vertiente Hatun Pukyo por muestreo



En los muestreos realizado en la vertiente Hatun Pukyo, se recolectaron 186 macroinvertebrados bentónicos en el primer muestreo, siendo los más abundantes los macroinvertebrados de la

familia Chironomidae (72.13%), después Planorbidae (17.21%) y Libellulidae (4.1%), siendo los macroinvertebrados que tuvieron más presencia de entre las 7 familias registradas, mientras que en el segundo muestreo se registraron 140 macroinvertebrados bentónicos siendo los más abundantes la familia Chironomidae (79.29%), después Planorbidae (10%%) y Limnaeidae (7.14%).

Dentro del análisis de los datos obtenidos podemos resaltar el caso de la familia Chironomidae, que en ambos muestreos tuvieron mucha presencia de individuos, según un estudio realizado en Brasil por Giehl & Flores (2022), indica que encontrar grupos en gran cantidad de individuos son indicadores de contaminación severa, ya que esta familia de macroinvertebrados son resistentes a grandes índices de contaminación en el agua, correspondiendo a una calidad de vertiente mala, ya que fue muy alta la cantidad de individuos muestreados.

Siguiendo con el taxón Planorbidae que se encontraron relativamente cantidades de individuos similares en ambos muestreos, siendo la segunda familia con más presencia en los muestreos, según Cujano (2019) indica que estos caracoles son pertenecientes a aguas que se encuentran en un estado de calidad moderado, correspondiendo al índice ABI de la vertiente, correspondiendo a los resultados del estudio, aunque se encontraron pocos individuos.

La familia Limnaeidae es conocida por su capacidad de sobrevivir en diferentes hábitats acuáticos, siendo capaces de tolerar aguas con niveles moderados de contaminación, si se los encuentra en grandes cantidades son indicadores de una calidad de agua muy pobre (Robalino, 2019), continuando con la familia Libellulidae solo fue posible encontrarlos en el primer muestreo, coincidiendo que en el día del muestreo existía vegetación que servía como hábitat del mismo, mientras que en el segundo muestreo esta vegetación fue retirada y no fue posible encontrar ejemplares del mismo, un estudio de Mitchell & Samways (2005), indica que pueden ser indicadores de aguas bien oxigenadas, mientras tengan vegetación donde refugiarse.

En general las vertientes de Sumak Yaku y El Poggio se encuentran en un estado casi idéntico, teniendo algunas familias en común que indican un estado de calidad de agua que se encuentra medianamente bien, como el caso de la familia Amphypoda, pero existe también el caso de la Chironomidae, que se encuentra presente en todas las vertientes en estudio, en la vertiente de Hatun Pukyo fue la familia que estuvo más presentes, esta vertiente que se encuentra en un

estado más contaminado, basándonos en un estudio de Giehl & Flores (2022) que menciona que la familia Chironomidae se encuentra presente en aguas con un estado de contaminación alto.

Cabe resaltar que se encontró peces del género *Astroblepus sp*, conocido comúnmente como preñadilla, que a pesar de no ser un macroinvertebrado, ni objetos de estudio, es un bioindicador de buena calidad del agua, lo que tiene relación con las puntuaciones ABI asignadas, ya que únicamente se encontraron en las vertientes de Sumak Yaku y El Poggio, estando ausentes en la vertiente de Hatun Pukyo, ya que históricamente estos peces han estado presentes en todas las vertientes del lago San Pablo, pero debido a las actividades desarrolladas en las vertientes y los impactos ambientales que han disminuido la calidad del agua de las mismas, se redujo la presencia de este pez nativo (La Hora, 2016).

5.3. Índice SVAP

Mediante el índice SVAP se evaluaron 15 parámetros para determinar el estado del ecosistema de cada vertiente de Sumak Yaku en Araque, El Poggio en San Pablo y Hatun Pukyo en San Rafael en un período de tiempo similar, para ello se tomó en cuenta dos valoraciones de cada parámetro de los cuales se obtuvo un promedio, a continuación, se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 7.

Índice SVAP por vertientes

SVAP: Protocolo para la evaluación rápida de ríos y quebradas
Puntaje Métrico

Parámetro	Sumak Yaku	El Poggio	Hatun Pukyo
A	10	8.5	2
B	6	4	4
C	1	2	1
D	1	1	1
E	2	2	4
F	3	10	2
G	2	2	1
H	4	4	3
I	6	10	5
J	7	7	7
K	7	7	1
L	8.5	8.5	10
M	2	2	4
N	8.5	5	3
O	7	6.5	1
Suma	75	79.5	49
Dividido en 15	5	5.3	3.27

En base a las valoraciones promedio podemos decir que las tres vertientes se encuentran en un estado pobre de calidad, debido a su baja puntuación en los siguientes parámetros:

Siendo los valores más bajos A (Apariencia del agua) en la vertiente Hatun Pukyo únicamente este parámetro nos indica la claridad del agua, que al visualizarla se notó que era sumamente turbia, lo que según un estudio de Moreno (2016) es por causa de una cantidad alta de sedimentos y microorganismos que pueden estar presentes y deterioran la calidad del agua.

B (Sedimentos en el río) este ítem se relaciona con el anterior, ya que los sedimentos son los que dan una turbidez alta al agua, por lo que al precipitarse y ser removidos nuevamente se demora un tiempo considerable en asentarse de nuevo, si lo comparamos con el estudio realizado por Fernández en 2016 nos dice que las actividades antrópicas juegan un papel importante ya que liberan sedimentos que se asientan en el fondo y permanecen ahí hasta ser removidos.

C (Zona ribereña) Gracias a la evaluación de este parámetro, podemos constatar que en la zona ribereña solo existen potreros, lo que tiene un impacto negativo en la calidad del agua. Un estudio de Molano (2016) nos muestra que la falta de vegetación en la ribera puede tener efectos

adversos, como la absorción de nutrientes y contaminantes, y un aumento en la erosión. La ribera completamente desnuda permite que el suelo esté expuesto al sol directo, vientos y lluvias, lo que puede generar erosión y sedimentación en el río.

D (Sombra) este parámetro se relaciona intrínsecamente con el anterior, ya que gracias a la falta de vegetación ribereña se produce un bajón en la sombra que estas producen, según el estudio de Peñaranda, et al. (2023), la falta de sombra provoca aumentos en la temperatura del agua, por lo que es posible que la fauna acuática se vea reducida en cierta manera, comprobando que la falta de sombra en la vertiente en estudio afecta negativamente a las comunidades de macroinvertebrados.

E (Pozas) este ítem es relevante ya que altera directamente el hábitat de macroinvertebrados, ya que las pozas son refugios para los mismos e incluso para especies bioindicadoras como lo son las preñadillas corroborando lo dicho en el libro de Allan, Castillo, & Capps (2021) que indica que existe una pérdida de biodiversidad acuática debido a la falta de pozas.

F (Condiciones del cauce) la condición del cauce del río es crucial, ya que la intervención humana puede afectar negativamente la flora acuática, que sirve de refugio para los macroinvertebrados. Esto, a su vez, altera su presencia y disminuye la calidad del agua. En su libro de Gordon, et al., (2004) explican que la intervención humana en el curso de los ríos resulta en la pérdida de vegetación acuática y una disminución de la fauna, lo cual coincide con los hallazgos de esta investigación, recalando que este parámetro es bajo en las vertientes Sumak Yaku y Hatun Pukyo

G (Alteración hidrológica) en esta vertiente en específico se pudo evidenciar que la mayor parte de la salida de agua se encuentra intervenida y encausada con estructuras de cemento, Berrezueta & López (2018) nos dicen que el encausamiento de un río genera una pérdida severa de fauna y flora acuática, pero en el caso de esta vertiente gracias a las descargas de nutriente por el desagüe de chochos crece nuevamente flora y fauna propia de aguas contaminadas.

H (Refugio para peces) podemos vincular este apartado directamente con las pozas, ya que estas sirven como un refugio para peces y macroinvertebrados. En su libro de 2021, Allan, Castillo & Capps señalan que la pérdida de estos refugios disminuye la biodiversidad y la cantidad de

individuos presentes en el ecosistema, ejemplificando con el caso de la nula existencia de poblaciones de preñadillas.

K (Barrera al movimiento de peces) La presencia de estas barreras, que en este caso son dos semi represas, hacen que se acumulen sedimentos, aumente la eutrofización, y disminuyan la cantidad de peces, que en este caso serían las preñadillas, pero por esta y más causas no tiene presencia en la vertiente, ya que según registros históricos y periódicos locales como La Hora (2016) nos dicen que existían preñadillas en la mayoría de vertientes, pero por la polución han desaparecido.

M (Presencia de desechos sólidos) en esta vertiente en específico hay que recalcar este apartado, ya que es la vertiente donde se realiza más actividad turística y lavado de ropa, lo que deja muy evidente la presencia de desechos sólidos en el cauce de la vertiente, lo que concuerda si lo comparamos con el estudio de Mendieta, et al., (2020) nos dice que la presencia de desechos sólidos son provocados por actividades humanas, lo que concuerda con los resultados obtenidos.

N (Presencia de estiércol) la vertiente de Hatun Pukyo en específico se lograron identificar algunas actividades como el pastoreo de ganado y lavado de vísceras de animales, lo que es una fuente de emisión muy grande al agua de estiércol, por lo que se hace visible a simple vista la presencia del mismo, Núñez & Roger (2022) dicen que estas actividades se realizan en zonas rurales que practican la ganadería, lo que concuerda con el estudio, ya que la vertiente Hatun Pukyo se encuentra en la comunidad rural de San Rafael.

O (Aumento de nutrientes de origen orgánico) este parámetro tiene una relación directa con el parámetro anterior, ya que el estiércol es en sí un aumento de materia orgánica fuerte a la vertiente, lo que genera el aumento de microorganismos y fauna que indica mala calidad del agua, como el caso de la familia de microorganismos Chironomidae, Diaz & González (2023) señalan que las actividades como el pastoreo de ganado cerca de ríos implica una descarga de materia orgánica al mismo, ya que los animales también ingresan al río a tomar agua y dejan desechos orgánicos adheridos en sus patas.

5.4. Parámetros físico químicos

Se evaluaron algunos parámetros fisicoquímicos que se consideraron relevantes en base a las actividades antrópicas desarrolladas en las vertientes, la mayoría de parámetros se evaluaron *in*

situ, el mismo momento en el que se realizó la colecta de macroinvertebrados, únicamente la medición de sulfatos se realizó en laboratorio

Tabla 8.

Valores de parámetros fisicoquímicos realizados in situ y en laboratorio

Parámetro	Unidades	Vertientes en estudio					
		Sumak Yaku		El Poggio		Hatun Pukyo	
		Primer muestreo	Segundo muestreo	Primer muestreo	Segundo muestreo	Primer muestreo	Segundo muestreo
pH	-	7.11	6.92	7.45	7.18	7	6.9
Sulfatos	ppm	23.7	14.67	22	10.67	7	7
Oxígeno disuelto	%	78.23	77.87	81.03	83.52	72.23	75.63
Conductividad eléctrica	μm	232	251.33	255	269.33	246.67	231.67

Para el análisis de los resultados obtenidos se hizo uso del acuerdo ministerial 097 A (MAE, 2015), específicamente basándose en el criterio de calidad admisible para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios. Para el pH podemos decir que se encuentra dentro de los límites máximos permisibles, ya que los resultados no sobre pasan el rango asignado de entre 6.5 – 9, mientras que el oxígeno disuelto solamente en El Poggio cumple la normativa que explica que el oxígeno disuelto debe estar sobre el 80%, y en los demás puntos se encuentra por debajo de los límites aceptables como se puede ver en la tabla 8.

En cuanto a los parámetros de conductividad eléctrica y sulfatos se hizo uso de artículos del libro TULSMA anexo 1 (MAATE, 1996) que habla sobre calidad del agua, para sulfatos podemos ver que los resultados se encuentran dentro de los límites permisibles, que se recomienda que no superen los 100 ppm, y la conductividad eléctrica también se encuentra en normativa, ya que para ríos se recomienda que no supere el límite de los 500 μm .

Los análisis de las mediciones de pH rondan los 6.49 y 7.45 en todas las vertientes, siendo un rango aceptable si lo comparamos con la normativa establecida por el MAE en 2015 en el acuerdo ministerial 097 A, que señala un rango de 6.5 a 9 para conservación de vida acuática y silvestre en aguas dulces, las diferentes variaciones en las mediciones podrían deberse principalmente a la vegetación circundante y composición del suelo, como lo indica un estudio de Dykstra, et al. en 2017 explora factores que podría cambiar el pH del agua, como la presencia

de materia orgánica y liberación de contaminantes, y además como se dijo anteriormente la presencia de vegetación en los alrededores del río.

En las mediciones de sulfatos se encontró que los valores oscilaban entre los 7 y 23.7 ppm en todas las vertientes, lo que estaría dentro de los parámetros propuestos en un estudio basado en el libro TULSMA anexo 1 (MAATE, 1996) donde se propone que los valores para conservación de fauna y flora acuática no superen los 100 ppm, aunque cabe resaltar una pequeña particularidad dentro de esta medición, ya que Castro, Medina, & Peraza (2009) indican que los sulfatos al ser liberados en ríos o aguas corrientes, el resultado de las mediciones tienen cierto grado de error, ya que al entrar en contacto con el río sufren una dilución, que hace que al momento de las mediciones se den valores más bajos de los que deberían resultar.

El porcentaje de oxígeno disuelto varía entre 72.23% y 83.52%. La normativa establece que el oxígeno disuelto debe estar por encima del 80% para ser considerado adecuado para la vida acuática. En El Poggio, se observa que el oxígeno disuelto está por debajo del límite aceptable, lo que podría indicar problemas de eutrofización o una alta demanda biológica de oxígeno (DBO) en esa vertiente, lo que puede correlacionarse con los resultados del índice SVAP y matriz de Leopold para la vertiente, ya que se evidencian actividades de uso del río como abrevadero y presencia de desechos de origen orgánico, lo que aumenta la cantidad de demanda biológica de oxígeno, disminuyendo el porcentaje de oxígeno disuelto, concordando con el estudio de Núñez & Roger (2022) donde se explica que estas acciones son causantes de una reducción de oxígeno en el agua.

5.5. Matriz de Leopold para identificar actividades antrópicas

Se usó una matriz de Leopold adaptada para identificar las actividades antrópicas y su impacto en los factores ambientales, la cual se valoró en base al impacto ambiental negativo que cada una de ellas genera.

Tabla 9.

Matriz de Leopold adaptada implementada en la vertiente Sumak Yaku

	Factores	Acciones	
--	-----------------	-----------------	--

Componente ambiental		Desagua de chochos	Lavado de ropa	Abrevadero de ganado	Uso turístico	Lavado de vísceras	Impacto agregado
AGUA	Calidad del agua	4	3	2	2	1	12
	Alteración del caudal	3	3	1	2	1	10
	Turbidez	4	4	2	1	1	12
SUELO	Acumulación sedimentos	4	3	2	3	1	13
	Erosión	2	3	1	2	1	9
FLORA	Flora acuática flotante	3	4	2	1	1	11
	Vegetación ribereña	2	2	3	3	1	11
	Algas	3	3	2	1	1	10
FAUNA	Diversidad Fauna acuática	4	4	1	2	1	12
	Zonas de refugio	4	2	1	1	1	9
CULTURA	Empleo indirecto	2	3	1	3	1	10
	Usos rituales	2	2	1	3	1	9
PAISAJE	Alteración mosaico del paisaje	3	4	2	3	1	13

	Presencia de residuos sólidos	3	4	2	3	1	13
	Impacto agregado	43	44	23	30	14	154

La valoración de las acciones y su interacción con los factores ambientales en la vertiente Sumak Yaku tuvo como resultados que tanto el desagüe de chochos como el lavado de ropa tienen un mayor impacto agregado que las demás acciones propuestas, debido a que son las actividades que fueron registradas cada vez que se realizaron los muestreos de macroinvertebrados.

Tabla 10.

Matriz de Leopold adaptada implementada en la vertiente El Poggio

Componente ambiental	Factores	Acciones					Impacto agregado
		Desagua de chochos	Lavado de ropa	Abrevadero de ganado	Uso turístico	Lavado de vísceras	
AGUA	Calidad del agua	1	3	4	4	1	13
	Alteración del caudal	2	3	3	2	1	11
	Turbidez	2	2	4	4	1	13
SUELO	Acumulación sedimentos	1	4	3	4	1	13
	Erosión	2	3	3	3	1	12
FLORA	Flora acuática flotante	2	4	4	2	1	13

	Vegetación ribereña	1	2	5	2	1	11
	Algas	2	3	3	2	1	11
FAUNA	Diversidad Fauna acuática	2	4	3	3	1	13
	Zonas de refugio	2	4	4	3	1	14
CULTURA	Empleo indirecto	1	5	2	5	1	14
	Usos rituales	1	3	2	3	1	10
PAISAJE	Alteración mosaico del paisaje	1	4	2	3	1	11
	Presencia de residuos sólidos	1	5	3	3	1	13
	Impacto agregado	21	49	45	43	14	172

Una vez implementada la matriz se logró obtener como resultado que el lavado de ropa, el abrevadero de ganado y el uso turístico son las actividades que tienen un mayor impacto agregado en relación con los factores evaluados en la vertiente El Poggio

Tabla 11.

Matriz de Leopold adaptada implementada en la vertiente Hatun Pukyo

		Acciones					
	Factores	Desagua de chochos	Lavado de ropa	Abrevadero de ganado	Uso turístico	Lavado de vísceras	Impacto agregado

AGUA	Calidad del agua	5	2	3	3	5	18
	Alteración del caudal	2	2	2	2	2	10
	Turbidez	3	3	3	2	4	15
SUELO	Acumulación sedimentos	4	2	4	1	4	15
	Erosión	3	2	3	1	2	11
FLORA	Flora acuática flotante	4	3	4	2	4	17
	Vegetación ribereña	1	1	4	3	1	10
	Algas	3	3	3	2	5	16
FAUNA	Diversidad Fauna acuática	5	3	3	2	5	18
	Zonas de refugio	4	1	3	2	1	11
CULTURA	Empleo indirecto	2	1	1	4	1	9
	Usos rituales	2	1	1	4	2	10
PAISAJE	Alteración mosaico del paisaje	1	1	3	2	1	8
	Presencia de residuos sólidos	1	3	3	4	1	12

	Impacto agregado	40	28	40	34	38	180
--	------------------	----	----	----	----	----	-----

Los resultados obtenidos luego de haber aplicado la matriz de Leopold adaptada fue que las actividades como el desagüe de chochos y abrevadero de ganado fueron las que tuvieron un mayor impacto agregado, cabe mencionar que el lavado de vísceras tiene un impacto agregado relativamente alto, en comparación con los otros valores

La actividad de desagüe de chochos fue la actividad principal que se desarrolla en las vertientes en estudio, ya que gracias al índice SVAP se pudo evidenciar que se realizaron pisos de cemento donde se colocan los chochos para su desagüe, siendo este sitio destinado para esta actividad principalmente, lo que afecta significativamente a la diversidad de la fauna, ya que en base a la abundancia previamente aplicada se evidenció que la familia *Chironomidae* tuvo mayor presencia en la vertiente Hatun Pukyo, indicando que tiene un estado de calidad bajo, comparándolo con un estudio de Ulloa (2019) donde menciona que este proceso libera nutrientes que ayudan al crecimiento de algas, y sumándose también que se realizaron semi represas para contener agua, reduciendo la calidad del agua significativamente debido a esta actividad.

Continuando con el uso de la vertiente como abrevadero de ganado, esta actividad aporta en la eutrofización ya que los animales pueden defecar dentro de la vertiente y aportar con nutrientes orgánicos que aumentan la cantidad de algas y alteran significativamente la flora y fauna acuática, también cabe mencionar que alteran la vegetación de las riberas ya que se alimentan de la vegetación que ahí se encuentra, todo esto se lo menciona apoyándose en los resultados del índice ABI y SVAP previamente evaluados, además de que en relación con un estudio de Núñez & Roger (2022), indica que estas actividades son realizadas por comunidades mayormente rurales, como las que se encuentran en los alrededores de las vertientes.

La presencia de turistas en las vertientes Sumak Yaku y El Poggio es considerablemente mayor a la vertiente de Hatun Pukyo ya que en estos sitios existe gran actividad económica, lo que conlleva a una mayor contaminación en lo que se refiere a residuos sólidos presentes en el agua, Mendieta, et al., (2020) nos dicen que las actividades turísticas son un factor intrascendente en

la presencia de contaminación por desechos sólidos, mencionando levemente también la falta de una cultura de cuidado ambiental por la mayoría de turistas.

5.1.1. Estrategias para un manejo sostenible de vertientes

Con los análisis del índice ABI, índice SVAP, parámetros fisicoquímicos y matriz de Leopold se proponen las siguientes estrategias para un manejo sostenible de las vertientes

Tabla 12

Estrategias para un manejo sostenible de vertientes

Estrategia	Objetivo	Actividades	Indicador	Duración	Responsables
Restauración de vegetación ribereña	Mejorar la cobertura vegetal de las zonas de ribera	<ul style="list-style-type: none"> ● Revegetación de zonas ribereñas con árboles nativos en el trayecto de la vertiente que esté únicamente con césped. ● Implementación de cercas vivas en las riberas del cauce ● Control y seguimiento de la vegetación que sea forestada 	Aumento de un 50% de la presencia y crecimiento de plantas que sean forestadas en las riberas	12 meses	GAD de la ciudad de Otavalo en conjunto con las comunidades locales
Mejoramiento de la gestión de residuos sólidos	Reducir la cantidad de desechos sólidos presentes en el cauce del río	<ul style="list-style-type: none"> ● Implementación de mingas de limpieza de recolección de desechos sólidos con las comunidades cercanas ● Implementación de botes de basura cercanas al cauce del río 	Mingas trimestrales	12 meses	GAD de la ciudad de Otavalo, EMAPAO y

					comunidades locales
Monitoreo de la calidad del agua	Tener un control periódico de la calidad del agua de la vertiente	<ul style="list-style-type: none"> ● Realización de monitoreo de control de calidad de distintos parámetros que sean relevantes. ● Modelización del sistema hídrico bajo distintos escenarios de variación de caudal ● Monitoreo de biodiversidad acuática, dando importancia a bioindicadores. ● Control de vegetación acuática en zonas estratégicas 	Reducir los niveles de contaminación en un 20% Mejorar los parámetros de calidad en un 15%	Períodos de 6 meses	EMAPAO
Regularización en el uso de suelo y actividades alrededor de la vertiente	Regular las construcciones que se establezcan en los alrededores de la vertiente	<ul style="list-style-type: none"> ● Establecer en el PUGS zonas estratégicas protegidas para que no existan alteraciones en el ecosistema que puedan alterar la calidad del agua. ● Regularización de actividades que se desarrollen en las vertientes. ● Colocar veedores calificados por el GAD que realicen monitoreo para el cumplimiento de esta regularización. 	Reducir el 15% de las construcciones que están construidas en los alrededores de las vertientes	Permanente	GAD de la ciudad de Otavalo

Charlas de concientización y educación sobre cuidado de vertientes	Concientizar a la población sobre el estado de la vertiente y el impacto de las actividades realizadas	<ul style="list-style-type: none"> ● Implementación de charlas a personas que desarrollen actividades en la vertiente sobre el impacto de la actividad y cuidado, dirigidas a las comunidades locales. ● Realizar acercamientos y actividades didácticas de aprendizaje en centros educativos de la zona. 	Dos charlas al año Registro de charlas y firmas de las personas asistentes	Cada 12 meses	EMAPAO en conjunto con comunidades locales
--	--	---	---	---------------	--

La restauración de vegetación ribereña implica varias actividades que son importantes dentro de esta estrategia, como el control y seguimiento de las especies forestadas, esto favorecerá a que también se regulen las actividades antrópicas dentro de las vertientes, Rico, Trejo, & Bonfil (2017) aclaran que se debe realizar un inventario de especies para que en base a eso se realice la revegetación con especies nativas y no generar un impacto a nivel de flora.

El mejoramiento del sistema de gestión de residuos es una alternativa viable, ya que al momento de realizar esto se trabaja directamente con las comunidades locales para crear consciencia en las personas que permita reducir en un porcentaje significativo el manejo inadecuado de residuos, lo que Hidalgo, Abarca, & Solís (2023), dicen es que puede existir un conflicto con la comunidad, ya que algunas personas no estarán de acuerdo con las medidas, ignorando completamente charlas de conscientización y todo lo relacionado.

En el tema del monitoreo de calidad del agua, Mecnas, Nascimiento, & Costa (2021), mencionan que se debe realizar un monitoreo en un período de 6 meses, lo mismo propuesto en esta estrategia, pero también recalcan que se deben considerar épocas de sequía y de lluvias, ya que esto podría aumentar la cantidad de sedimentos y alterar los parámetros fisicoquímicos que sean de interés para el monitoreo.

En la estrategia que se refiere al uso de suelo y actividades en la vertiente, cabe mencionar que esto será jurisdicción directa del GAD de la ciudad de Otavalo, ya que ellos tienen la potestad de negar permisos de construcción y si lo es necesario declarar áreas protegidas con el fin de precautelar el recurso agua, según el PUGS de la ciudad de Otavalo (2022) se dispone el establecimiento de un sistema de áreas protegidas con la finalidad de conservar la biodiversidad.

La implementación de charlas y actividades didácticas en los centros educativos es una estrategia que resulta muy efectiva según Hidalgo, Abarca, & Solís (2023) mencionan que estas acciones son cruciales en este tipo de planes de conscientización, pero se debe planificar bien al público al que se destinarán las charlas, ya que de lo contrario existirá un desinterés general por parte de los supuestos asistentes

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

- En base a los muestreos, análisis de parámetros fisicoquímicos, análisis del ecosistema de las vertientes, la entrevista realizada podemos afirmar lo siguiente:
- Según la aplicación del índice ABI realizada en las tres vertientes seleccionadas para la investigación, tanto las vertientes de Sumak Yaku como la de El Poggio, se encuentran en un estado de calidad moderado, mientras que la vertiente de Hatun Pukyo se encuentra en un estado pobre en cuanto a su calidad.
- La evaluación del ecosistema de las vertientes mediante el índice SVAP, nos indica que los ecosistemas de las 3 vertientes en estudio se encuentran en un estado pobre, ya que en el promedio de cada una es bajo, teniendo calificaciones de 5 para Sumak Yaku, 5.3 para El Poggio y 3.27 para Hatun Pukyo.
- En cuanto a los parámetros fisicoquímicos *in situ*, se identificó que el pH, sulfatos y conductividad eléctrica, se encuentran dentro de los parámetros establecidos en el TULSMA y el Acuerdo Ministerial 097 en las tres vertientes en estudio, mientras que el oxígeno disuelto registrado en las vertientes de Sumak Yaku y Hatun Pukyo, que se encuentran por debajo de la normativa establecida.
- Se logró la valoración de actividades antrópicas y los impactos que éstas pueden llegar a tener, detectándose que las de mayor impacto son el lavado de ropa, lavado de chocho, abrevadero de ganado y uso turístico.
- Dentro de las estrategias propuestas, la que se debería abordar de manera central es la revegetación de las riberas, ya que gracias a esto se estaría brindando una capa de protección al río y de manera indirecta se estaría limitando el acceso de las personas, siguiendo con el monitoreo de la calidad de agua, ya que se estaría teniendo un control seguido de la salud de la vertiente y en caso de tener alteraciones en los valores fisicoquímicos se podría hacer un seguimiento y ver la fuente o causa de contaminación.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

- Se debe continuar con la línea de investigación de este proyecto, con el objetivo de tener un registro sobre la biodiversidad presente en las vertientes, pero con la diferencia de que se busque otras vertientes que puedan o no estar afectadas por factores que disminuyan su calidad.
- Investigar el impacto que tienen diversos factores ambientales como la precipitación que implica un crecimiento de caudal significativo, o en épocas de sequía donde el caudal se reduce significativamente y se pierde en parte refugios para macroinvertebrados, influyendo de manera directa en la presencia o ausencia de los mismos.
- Realizar comparaciones con estudios posteriores y registros históricos de macroinvertebrados y actividades antrópicas, enfatizando en la presión que tienen las actividades antrópicas frente a la biodiversidad de las vertientes.
- Fomentar la colaboración entre instituciones como GAD's cantonales e instituciones de educación superior como la PUCE-I, con la finalidad de tener una vinculación que permita una mayor centralización y visibilidad de protección y gestión de fuentes de agua, además de que se podría incluir a organizaciones no gubernamentales para buscar un apoyo financiero y técnico para la realización de proyectos de conservación y restauración de vertientes.
- Realizar investigaciones en especies banderas que son bioindicadores de las zonas, como el caso de las apangoras y preñadillas, ya que tienen baja tolerancia a contaminación, y podrían ser muy influyentes en posibles estudios, porque se encuentran amenazados por influencias humanas.
- Aplicar las estrategias planteadas en el presente estudio con el fin de realizar acciones que involucre y comprometa a las comunidades y a los GADs parroquiales y cantonales en la conservación de las vertientes que son pertenecientes a las propias comunidades, con el fin de evitar que se deterioren más de lo que ya están.

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allan, J., Castillo, M., & Capps, K. (2021). *Stream ecology: structure and function of running waters*. Londres: Springer.
- Apaza, M. (2015). *Evaluación del grado de amenaza al habitat a través de bioindicadores (Lepidópteros) en dos comunidades dentro del área de influencia del PN ANMI Madidi*. La Paz: Universidad Mayor de San Andrés.
- Apaza, M. (2015). *Evaluación del grado de amenaza al habitat a través de bioindicadores (Lepidópteros) en dos comunidades dentro del área de influencia del PN ANMI Madidi*. La Paz: Universidad MAYor de San Andrés.
- Arboleda, N. (2016). Diagnóstico del sistema de aprovechamiento del agua lluvia en el consejo comunitario de la comunidad negra de Los Lagos, Buenaventura. *Luna azul*, 29-35.
- Arellanes, Y., & Ayala, D. (2021). Problemática de la pesca en el lago de Pátzcuaro: la invisibilidad entre la práctica y el discurso. *Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 31-51.
- Badillo, L., Guayasamín, P., Chico, M., Loja, P., & Ortiz, G. (2016). Caracterización de la calidad de agua mediante macroinvertebrados bentónicos en el río Puyo, en la Amazonía Ecuatoriana. *Hidrobiología*.
- Baldeón, C., & Rodrigo, C. (2018). Diseño de un sistema prototipo para la adquisición y transmisión de datos de temperatura superficial del agua a través de la red celular en un ambiente controlado.
- Barba, M. (2009). Ecología y geoquímica de ostrácodos como indicadores paleoambientales en ambientes marginales marinos.: Un ejemplo de estudio. *La Albufera de Valencia. Universitat de València*.
- Berrezueta, D., & López, T. (2018). Estudio del impacto ambiental en la calidad del agua del río Cuenca producido por la descarga del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba. *Universidad de Cuenca*.
- Cachimuel, E. (2018). Propuesta de estrategias para la conservación del sitio sagrado " Hatum pukyo", comunidad cuatro esquinas, Parroquia San Rafael de la Laguna. *Universidad de Otavalo*.
- Calderón, M. (2018). *Oferta hídrica, almacenamiento de agua y carbono en dos escenarios altoandinos del páramo de Mojanda-Ecuador*. La Plata: Universidad Nacional de La Plata.
- Cárdenas, E., Lugo, L., González, J., & Tenjo, A. (2018). Aplicación del índice biótico de familias de macroinvertebrados para la caracterización del agua del Río Teusacá, afluente del Río Bogotá. *Revista UDCA Actualidad & divulgación científica*, 587-597.

- Casallas, J., & Gunkel, G. (2021). Algunos aspectos limnológicos de un lago altoandino: el lago San Pablo, Ecuador. *Limnetica*, 215-232.
- Castro, E., Medina, A., & Peraza, V. (2009). Origen de los sulfatos en el agua subterránea del sur de la sierrita de Ticul, Yucatán. *Ingeniería*, 49-58.
- Cheneaux, A. (2014). *Estado ecológico en dos lagunas del santuario nacional lagunas de Mejía, Arequipa, mediante macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad de agua (febrero - abril 2014)*. Santa Catalina: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Chuquilla, J. (2023). Evaluación de la eficiencia de tres productos orgánicos a base de microorganismos benéficos para el control de la mosca de la semilla (*delia platura meigen*) de chocho (*lupinus mutabilis* sweet) en Panguigua parroquia Juan Montalvo. *Universidad Técnica de Cotopaxi*.
- Coaquira, S. (2022). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad en el Lago Titicaca: Bahía Interior de Puno. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*.
- Coronel, M., & Socola, C. (2022). *Impacto económico del turismo en las comunidades de la parroquia San Pablo del Lago*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Cuarán, D., & Ruiz, M. (2019). *Evaluación del estado trófico en relación a los parámetros físico-químicos y macroinvertebrados bentónicos del lago San pablom Cantón Otavalo*. Ibarra.
- Cujano, V. (2019). Estudio de la calidad del agua mediante la identificación de macroinvertebrados en un tramo de la microcuenca del Río Blanco en el ecosistema páramo ubicado en la parroquia el Sucre, cantón Patate, provincia de Tungurahua. *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*.
- De La Cruz, A. (2024). *Evaluación de la diversidad de quiropterofauna de la ribera del Lago San Pablo*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Delgado, M. (2022). *EVALUACIÓN DEL RIESGO ECOTOXICOLÓGICO DEL BORO EN BIOINDICADORES ACUÁTICOS*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Díaz, N., & González, J. (2023). Actividades económicas y calidad del agua del Río Moche, puente Constancia y puente Concón. *Universidad Nacional de Trujillo*.
- Domínguez, E., & Fernández, H. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. *Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina, 656.
- Dykstra, J., Keesman, K., Biesheuvel, P., & Van del Wal, W. (2017). Theory of pH changes in water desalination by capacitive deionization. *Water research*, 178-186.
- Feijoo, B. (2022). Propuesta para el manejo de descargas de efluentes y de residuos sólidos para la mejora del desempeño ambiental al Camal Municipal de Piñas. *Universidad Católica de Cuenca*.
- Fernández, L. (2022). Diversidad de macroinvertebrados bentónicos en zonas litorales del lago Titicaca, julio 2019. *IMARPE*.
- Fernández, R. (2016). Sedimentación/Aguas. *Escuela de Organización industrial*.

- Ferri, F., Torrejón, J., & Bote, J. (2005). Ferri, F., Torrejón, J.M., & Bote, J.L. (2005). Confirmación de la presencia de "Paragomphus genei" (Sélys, 1841) en Extremadura (Odonata, Gomphidae).
- Flores, F. (2007). *CONTINUIDAD Y CAMBIOS EN RITUALES DE LA SIEMBRA Y LA COSECHA EN EL SUR DEL LAGO SAN PABLO, IMBABURA-ECUADOR*. International Journal os South America.
- Gamboa, M., Reyes, R., & Arrivillaga, J. (2008). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. *Boletín de malariología y salud ambiental*, 109-110.
- Garbisu, C., Becerril, E. L., & Alkorta, L. (2007). Bioindicadores de la calidad del suelo: herramienta metodológica para la evaluación de la eficacia de un proceso fitorremediador. *Ecosistemas*, 16.
- García, A., Lozano, S., Pérez, R., Molina, I., Castañeda, E., & Díaz, G. (2023). Macroinvertebrados acuáticos en manantiales de la subcuenca río Copalita, Oaxaca, México. *Revista Chilena de Entomología*.
- Giehl, J., & Flores, M. (2022). Diversidade de macroinvertebrados bentônicos encontrados no Arroio Monjolo no Sul do Brasil. *Revista Perspectiva*, 57-67.
- Godoy, M. (2022). Estudio de parámetros físicos a las aguas del arroyo San Lorenzo en tres puntos de referencia. *Revista Científica UPAP*.
- Gordon, N., McMahon, T., Finlayson, B., Gippel, C., & Nathan, R. (2004). *Stream hydrology: an introduction for ecologists*. Londres: Wiley.
- Granados, J., Barragán, P., Trejo, R., & Martínez, M. (2023). *Macroinvertebrados bentónicos de dos lagos de alta montaña en el estado de Morelos, México*. Santa Marta: Universidad del Magdalena.
- Guaña, L. (2019). *Inventory socioambiental participativo de los recursos hídricos existentes en la parroquia rural san pablo del lago, cantón Otavalo*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Guevara, A., Aguayo, M., Arque, F., Caro, J., & G. (s.f.).
- Guevara, A., Anguayo, M., Araque, F., Caro, J., Gómez, I., & Távora. (2003). *Informática aplicada al turismo. Madrid: Pirámide*.
- Gunkel, G. (2003). Limnología de un Lago Tropical de Alta Montaña, en Ecuador: Características de los sedimentos y tasa de sedimentación. *Revista de Biología Tropical*, 381-390.
- HANNA instruments. (2011). MEDIDOR DE OXIGENO DISUELTO EN AGUA PORTATIL E IMPERMEABLE. *Manual de instrucciones HI - 9142*, 2-4.
- Hanson, P., Springer, M., & Ramirez, A. (2010). Capítulo 1: Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista de biología tropical*, 3-37.
- Hidalgo, D. (2023). *Modelo de gestión turística participativa para fortalecer la calidad de atención al cliente en los emprendimientos turísticos del Lago San Pablo*. Ibarra: universidad Técnica del Norte.
- Hidalgo, M., Abarca, L., & Solís, A. (2023). Estrategia de manejo de residuos sólidos para la comunidad de Colorado Norte, Pococí. *Revista Tecnología en Marcha*.

- Hilaño, P. (2023). Evaluación de la calidad de agua a través de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca del río Kushapukos en el cantón Tiwintza, provincia de Morona Santiago 2022. *Universidad Estatal Península de Santa Elena*.
- Iannacone, J., & Alvarino, L. (2002). Efecto del detergente doméstico alquil aril sulfonato de sodio lineal (LAS) sobre la mortalidad de tres caracoles dulceacuícolas en el Perú. *Ecología*.
- Inuca, H., Oña, H., Guzman, F., Andrango, J., Sánchez, R., & Vicuña, A. (2002). *Imbaukucha estudios para la sustentabilidad*. Quito: Instruct.
- Jumbo, M., & Campoverde, E. (2012). Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor (Lenteja de agua), y Eichornia crassipes (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera. *Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca*.
- La Hora. (5 de Junio de 2016). Pez preñadilla está en peligro crítico de extinción. *La Hora*.
- LaMotte. (s.f.). Sulfate High Range. *Operator's Manual*.
- Limongi, D., Cárdenas, M., Tróccoli, L., & Erazo, J. (2018). Compuestos nitrogenados en los sedimentos del estero San Camilo: Guayas, Ecuador y su relación con actividades antrópicas adyacentes. *Intropica*.
- Lisiardi, R. (21 de Noviembre de 2013). *Beneficios y características del turismo rural*. Obtenido de <https://medium.com/@rodrigolisiardi/beneficios-y-caracter%C3%ADsticas-del-turismo-rural-62ea8438fb27>
- López, A., Ríos, M., & Gil, I. (2023). Habitat characteristics that regulate the structure of macroinvertebrate communities in tropical mountain rivers (Antioquia, Colombia). *Revista de Biología Tropical*, 71.
- López, L. (2011). Protocolo de monitoreo de la calidad del agua mediante macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores. *ICF*, 51.
- MAATE. (1996). Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua. 44.
- MAE. (2015). Registro Oficial Edición Especial 387.
- Mafla, M. (2005). Guía para evaluaciones ecológicas rápidas con indicadores biológicos en ríos de tamaño mediano Talamanca - Costa Rica. *Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanzas*, 53-63.
- Matínez, F., Prieto, C., Martínez, P., & Cueva, O. (2023). Calidad Ecológica de las Cuencas Abastecedoras de Agua en la Ciudad de Loja-Ecuador. *Revista Politécnica*, 77-86.
- Mecenas, M., Nascimento, L., & Costa, J. (2021). Avaliação da Qualidade Sanitária da Água Distribuída pelo Sistema de Abastecimento em Poço Verde – SE no Período de Janeiro a Outubro de 2019. *Revista Brasileira de Geografia Física*.
- Mendieta, R., Giler, J., Menéndez, C., & Macías, R. (2020). Estudio sobre el manejo de desechos sólidos del área urbana en la parroquia Membrillo, cantón Bolívar. *Dominio de las Ciencias*, 282-309.

- Merino, M., Conforme, M., Conforme, M., & Barzola, J. (2020). Macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua de la parte céntrica del río Jipijapa-Ecuador. *RECIMUNDO*, 454-467.
- Mitchell, A., & Samways, M. (2005). The morphological 'forms' of *Palpopleura lucia* (Drury) are separate species as evidenced by DNA sequencing (Anisoptera: Libellulidae). *Odonatologica*, 173-178.
- Molano, L. (2016). Propuesta de Alternativas Productivas Sostenibles para la Zona Ribereña del Río Meta, Sector la Salina, Municipio de Puerto Lopez, Departamento del Meta. *Universidad de los Llanos*.
- Moreno, E., & Grey, A. (2011). DETERMINACIÓN DE ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL A PARTIR DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS EN PERIODO SECO Y LLUVIOSO, ÁREA RECREATIVA DEL LAGO GATÚN, PROVINCIA DE COLÓN. *V Congreso de Investigación, Desarrollo e Innovación*.
- Moreno, S. (2016). Disminución de la turbidez del agua del río Crisnejas en la comunidad de Chuquibamba-Cajabamba utilizando *Opuntia ficus indica*, *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa*. *Universidad César Vallejo*.
- Mosquera, D. (2008). Bioindicación de la calidad del agua del río Cali, Valle del Cauca, Colombia; usando macroinvertebrados acuáticos. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*.
- Muñoz, N., Oyaga, R., & Troncoso, A. (2023). Bioindicadores Acuáticos Como Estrategia Pedagógica para el Fortalecimiento de la Calidad Ambiental en Cuerpos de Agua. *Boletín de Innovación, Logística y Operaciones*, 121-124.
- Navarrete, O. (2020). Evaluación del estado ecológico de la cuenca del río Íntag cantón Cotacachi, utilizando macroinvertebrados como bioindicadores de calidad de aguas. *Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra*, 15.
- Núñez, F., & Roger, R. (2022). El compromiso ambiental y social, los nuevos retos y las perspectivas de los ingenieros de ríos en Latinoamérica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*.
- Ospina, G. (2019). Inventario de lagos y avances en el conocimiento de los humedales altoandinos en la región de páramos Las Hermosas, cordillera Central colombiana. *Entorno Geográfico*.
- Otavaló, G. A. (2022). Plan de Uso y Gestión de Suelos.
- Otero, M., Torres, N., Plaza, G., & Pérez, C. (2002). Nemátodos bacteriófagos como bioindicadores y como organismos asociados a los procesos de biorremediación. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 6.
- Pascual, G., Iannacone, J., & Alvarino, L. (2019). Macroinvertebrados bentónicos y ensayos toxicológicos para evaluar la calidad del agua y del sedimento del río Rímac, Lima, Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*.
- Pazmiño, N. (2016). Caracterización físico química, biológica e hidromorfológica del río Itambi como afluente del lago San Pablo (Imbabura, Ecuador).

- Peñaranda, C., Carrasco, V., Pucha, H., Celiñ, B., Pérez, C., & Acosta, A. (2023). Aplicación del índice de calidad del agua (ICA) caso de estudio: río Jubones, Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 1267-1277.
- Perevochtchikova, M. (2013). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gestión y política pública*, 283.
- Pérez, J., Martínez, L., Casellanos, L., Mora, A., & Rocha, Z. (2020). Macroinvertebrados bioindicadores de calidad de agua en sistemas hídricos artificiales del Departamento de Boyacá, Colombia. *Producción+ Limpia*, 35-48.
- Pinargote, J., & Álvarez, Y. (2023). Calidad de agua del río Portoviejo y su incidencia en el turismo. 593 *Digital Publisher*.
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Otavalo. (2020). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Otavalo, provincia de Imbabura*. Otavalo: Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón.
- Proyecto Geoparque Imbabura. (2017). *Dossier de postulación a la denominación "Geoparque Mundial de la UNESCO"*. Prefectura de Imbabura.
- Ramos, M. (2021). *La planificación y gestión del turismo en comunidades indígenas. Caso de estudio del proyecto "Eco-ruta Lacustre del Lago San Pablo-Imbakucha", Parroquia San Rafael de la Laguna, Otavalo-Ecuador*.
- Ramsar. (2008). Estrategia Regional de Conservación y Uso Sostenible de los Humedales Altoandinos. *CONDESAN*, 3-5.
- Ramsar. (5 de Noviembre de 2014). *La importancia de los humedales*. Obtenido de <https://www.ramsar.org/es/acerca-de/nuestra-mision/la-importancia-de-los-humedales#:~:text=Los%20humedales%20son%20indispensables%20por,y%20mitigaci%C3%B3n%20del%20cambio%20clim%C3%A1tico>.
- Ramsar, & EHAA, G. d. (2008). Estrategia regional de conservación y uso sostenible de los humedales altoandinos. *Convención Ramsar*.
- Rascón, J., Corroto, F., Tafur, D., & Torres, O. (2021). Variaciones limnológicas espaciotemporales de un lago altoandino tropical al norte de Perú. *Ecología Austral*, 343-356.
- Rico, F., Trejo, & Bonfil, C. (2017). Estructura y composición de la vegetación ribereña de la barranca del río Tembembe, Morelos, México. *Boletín De La Sociedad Botánica De México*.
- Rincón, J., & Montoya, Y. (2023). Caracterización del río Tota (parte alta), por medio de variables fisicoquímicas y los macroinvertebrados acuáticos. *Revista Politécnica*, 115-128.
- Ríos, B., Acosta, R., & Prat, N. (2014). *The Andean Biotic Index (ABI): revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation*. Quito: Universidad de Barcelona.

- Rivadeneira, G. (2015). *Sistematización del proceso de participación ciudadana y política de la mancomunidad de la cuenca del lago San Pablo*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Robalino, M. (2019). Desarrollo de un indicador de calidad de agua que integre ABI-U E ICA. *Universidad Nacional de Chimborazo*.
- Roig, P. (2008). *Evaluación del riesgo en humedales costeros mediterráneos de la presencia de contaminantes químicos orgánicos*. Valencia : Universitat de València.
- Roig, P., Barca, D., Crisci, G., & Lalli, C. (2010). Estudio sobre los Liqueenes como bioindicadores del contenido de metales pesados en el entorno de la Iglesia de los Santos Juanes de Valencia. *Estudos de Conservação e Restauro*, 21-22.
- Rojas, E., Ortiz, E., García, L., Veneros, J., Quintana, S., & Tafur, C. (2021). Calidad físicoquímica y microbiológica del agua en los lagos de Tunants y Yahuahua, en la región Amazonas, Perú. *Revista de la Universidad del Zulia*, 139-142.
- Roldan, G. (1996). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Atioquia*. Bogotá: Presencia S.A.
- Roldán, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 254-256.
- Sánchez, E. (2023). Bioindicadores en contextos metropolitanos del siglo XXI. *Observatorio Medioambiental*.
- Sánchez, F. (2024). Factores que incidieron en el uso del espacio al sur del lago san pablo desde integración tardío hasta el presente, Otavalo, Ecuador. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*.
- Sánchez, F. (2024). Sánchez Flores, F. (2024). Factores que incidieron en el uso del espacio al sur del lago san pablo desde integración tardío hasta el presente, Otavalo, Ecuador. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*. Sánchez Flores, F. (2024). *Factores que incidieron en el uso del espacio al sur del lago san pablo desde integración tardío hasta el presente, Otavalo, Ecuador. LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*.
- Tenjo, A., & Cárdenas, E. (2015). Importancia y utilidad de los bioindicadores acuáticos. *Biodiversidad Colombia*, 36.
- Ulco, M. (2019). Evaluación de Estrategias Poscosecha (temperatura y desinfección) en Chocho Verde a dos Índices de Cosecha, en Campus Experimental Salache, en el periodo 2018-2019. *Universidad Técnica de Cotopaxi*.
- Valdivia, C. (2023). *Evaluación ecotoxicológica de efluentes textiles industriales en la ciudad de Arequipa en indicadores acuáticos*. Arequipa: Universidad Católica de Santa María.
- Vilca, E. (2022). Uso de los macroinvertebrados como indicadores de la calidad de agua en ecosistemas lóticos en el Perú: una revisión. *South Sustainability*.

- Villamarín, C. (2008). Estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en ríos altoandinos del Ecuador y Perú. Diseño de un sistema de medida de la calidad del agua con índices multimétricos. *Universitat de Barcelona*.
- Waha, D., Tullung, M., Berhimpon, S., & Mantiri, F. (2017). Phylogeny reconstruction of Gerridae from River Ratatotok and River Talawaan North Sulawesi Based on Mitochondrial DNA 16 S RNA Gene. *International Journal of Fauna and Biological Studies*.
- Yaselga, S. (2019). *Ordenanza municipal en el cantón Otavalo para la preservación de ríos, quebradas, vertientes que desembocan en el lago San Pablo, dentro del marco de los derechos de la naturaleza*. Ibarra: UNIANDES.

ANEXOS

Anexo 1.

Entrevista realizada al director del departamento de gestión ambiental del GAD de la ciudad de Otavalo

Entrevista

La presente entrevista tiene la finalidad de conocer la influencia que las actividades humanas tienen sobre la calidad de las vertientes del lago San Pablo, como parte de una investigación previo a la obtención del título de ingeniero ambiental de la PUCESI, esta entrevista será anónima y sus resultados serán usados para fines académicos.

Gracias por la colaboración

Nombre del entrevistado: Yoan Coral

Cargo: Director del departamento de gestión ambiental del GAD de la ciudad de Otavalo

Fecha: 07/06/2024

1. ¿Cuáles son los principales desafíos que enfrenta el municipio en términos de gestión y protección de la calidad del agua en las vertientes del lago San Pablo?

El municipio en sí, coordina a través de la EMAPAO el monitoreo y protección de vertientes en lo que concierne a su calidad, ya que algunas vertientes son destinadas a consumo humano, por lo cual toma parte la EMAPAO, y todo se lo realiza en coordinación también con las juntas de agua

2. ¿Qué medidas se han implementado el municipio para monitorear y mantener la calidad del agua en las vertientes del lago San Pablo?

En si el municipio no ha implementado medidas para el monitoreo de calidad de agua de las vertientes, ya que es una designación que no le concierne al departamento de

gestión ambiental, pero si le concierne a las juntas de agua, el municipio lo único que realiza es participar en las mesas interinstitucionales, tomando en cuenta algunas áreas que sean parte de algún plan de manejo, como el “taita” Imbabura que es un área protegida manejada a través de un consorcio donde se encuentra el GAD de Ibarra, Antonio Ante, Otavalo y la prefectura de Imbabura, donde existe un plan de manejo donde el municipio únicamente actúa con la dotación de recursos y cumplimiento de sanciones en caso de intervención

3. ¿Existen acercamientos con las comunidades locales sobre las acciones que estos realizan en las vertientes y los efectos negativos que tienen con las mismas?

El municipio al ser un ente descentralizado coordina a través de la EMAPAO y las juntas de agua, pero en ciertas actividades si tiene participación, como lo pueden ser la forestación alrededor de vertientes donde interviene también la prefectura y las juntas de agua, teniendo el municipio competencias como el gestionamiento de plantas para dichos programas de reforestación

4. ¿Cuáles son las mayores preocupaciones o amenazas identificadas para la calidad del agua en las vertientes del lago San Pablo, desde la perspectiva del departamento de gestión ambiental?

En tema de amenazas son todas las acciones que las comunidades puedan realizar, pero también las comunidades tienen en cuenta la calidad del agua como mingas y trabajos de protección, por lo que realizan actividades para proteger el recurso agua, pero también existen actividades como pastoreo de animales, quemas, lo que afecta a las vertientes

5. ¿Existen planes futuros o iniciativas en desarrollo para conservar y/o mejorar la calidad del agua en las vertientes del lago San Pablo por parte del municipio?

El municipio tiene parte en la planificación de áreas de protección hídrica, como en Mojanda o en el “taita” Imbabura, teniendo una propuesta de ordenanza a futuro para el

área del “taita” Imbabura-Cubilche, y dentro del plan de uso y gestión de suelo, se establece estas áreas de protección y como municipio están en la competencia de declarar estas ordenanzas y si es posible otorgar un plan de manejo para las áreas y proteger el recurso hídrico, que suelen ser en zonas de páramos, zonas altas y zonas donde se encuentran las vertientes, y si se otorga una categoría de manejo a una de estas áreas se hace un acercamiento a las comunidades cercanas para ver si están de acuerdo y su respectivo análisis legal, y si en caso de que los dueños estén de acuerdo se procede a hacer la declaratoria para la categoría de manejo, pero si no se realiza dentro del PUGS se tiene regulaciones para estos suelos, lo que restringe actividades que tengan impactos negativos, como el caso de construcciones que pueden afectar al patrimonio natural

Anexo 2.

Puntuaciones ABI por familia

Clase	Orden	Familia	Andean Biotic Index	Valores de tolerancia ajustados para aplicación del FBI	Clase	Orden	Familia	Andean Biotic Index	Valores de tolerancia ajustados para aplicación del FBI	
Hydrozoa		Hydriidae (Roldan-Pérez, 2012)	10	0	Insecta	Trichoptera	Hydroptilidae	6	4	
Turbellaria	Tricladia		5	5			Xiphocentronidae	8	2	
Hydrudinea			3	7			Hydrobiosidae	8	2	
Oligoqueta		Tubificidae	1	9			Glossosomatidae	7	3	
Gasteropoda		Ancylidae	6	4			Hydropsychidae	5	5	
		Physidae	3	7			Anomalopsychidae	10	0	
		Hydrobiidae	3	7			Philopotamidae	8	2	
		Limnaeidae	3	7			Limnephilidae	7	3	
		Planorbidae	3	7						
Bivalvia		Sphaeriidae	3	7			Lepidoptera	Pyralidae	4	6
		Hyriidae	3	7			Ptilodactylidae	5	5	
Malacostraca	Amphipoda	Hyaellidae	6	4			Lampyridae	5	5	
Ostracoda			3	7			Psephenidae	5	5	
Acari	Hydracarina		4	6			Scirtidae (Helodidae)	5	5	
Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	4	6		Coleoptera	Staphylinidae	3	7	
		Leptophlebiidae	10	0			Elmidae	5	5	
		Leptohyphidae	7	3			Dryopidae	5	5	
	Odonata	Oligoneuridae	10	0			Gyrinidae	3	7	
		Aeshnidae	6	4			Dytiscidae	3	7	
		Gomphidae	8	2			Hydrophilidae	3	7	
		Libellulidae	6	4			Hydraenidae	5	5	
		Coenagrionidae	6	4			Athericidae	10	0	
		Calopterygidae	8	2			Blepharoceridae	10	0	
		Polythoridae	10	0			Simuliidae	5	5	
	Plecóptera	Perlidae	10	0			Tabanidae	4	6	
		Gripopterygidae	10	0			Tipulidae	5	5	
							Limoniidae	4	6	
	Heteróptera	Veliidae	5	5			Diptera	Ceratopogonidae	4	6
		Gerridae	5	5		Dixidae		4	6	
		Corixidae	5	5		Psychodidae		3	7	
		Notonectidae	5	5		Dolichopodidae		4	6	
		Belostomatidae	4	6		Stratiomyidae		4	6	
		Naucoridae	5	5		Empididae		4	6	
						Chironomidae		2	8	
	Trichóptera	Helicopsychidae	10	0		Culicidae		2	8	
		Calamoceratidae	10	0		Muscidae		2	8	
		Odontoceridae	10	0		Ephydriidae		2	8	
		Leptoceridae	8	2		Syrphidae		1	9	
		Polycentropodidae	8	2						

Nota: Tomado de Cárdenas, et al (2018)

Anexo 3

Tabla de puntuación del índice SVAP

Criterio	Valores				
	10	7	5	3	1
Apariencia del agua	Muy clara	Algo turbia		Bastante turbia	Muy turbia
Sedimentos(Re mover el fondo)	El agua se mantiene clara	2 seg. mientras se aclara el agua	5 seg. Mientras se aclara el agua	8 seg. Mientras se aclara el agua	No se aclara el agua
Zona ribereña (ancho y calidad)	Bosque primario en toda la orilla	Parches de algún tipo de árboles	Franjas de pocos árboles	Plantaciones en las orillas	Potreros en las orillas
Sombra	100% de sombra	75% de sombra sobre el cauce	50% de sombra sobre el cauce	25% de sombra sobre el cauce	No hay sombra

	sobre el cauce				
Pozas	Abundancia de todo tipo de pozas	Poca presencia de pozas (3 a 4)		Presencia de pozas no profundas (2 a 4)	No hay pozas
Condiciones del cauce	Cauce natural no hay sedimentación	Evidencia de alteración en el cauce		El cauce ha sido modificado	El cauce está completamente modificado
Alteración hidrológica (desbordes)	Ocurren una o varias veces al año	Ocurren cada uno o dos años		Ocurren cada tres o cinco años	No hay desbordes
Refugio para peces	Más de siete tipo de refugio	Seis o siete tipos de refugio	Cuatro o cinco tipos de refugio	Dos o tres tipos de refugio	Cero o un tipo de refugio
Refugio para macroinvertebra dos	Cinco o más tipos	Tres o cuatro tipos		Uno o dos tipos	Cero o un tipo de hábitats presentes
Estabilidad de las orillas	Estables, raíces de árboles protegen	Moderadament e, las orillas se erosionan en las curvas		Inestables, algunas raíces expuestas y árboles cayendo	Inestable, muchos árboles cayendo
Barrera al movimiento de peces	No hay barreras	Obstrucción hechas por el ser humano		Alcantarillas o puentes	Represas o desviaciones del agua
Presión de pesca	Nadie pesca ahí	La pesca es poco frecuente, no se usan redes		Se pesca con anzuelos o atarraya, pocas veces con veneno	Pesca indiscriminada con veneno y trasmallo
Presencia de desechos sólidos	No hay evidencia de basura	Presencia de desechos sólidos	Presencia de desechos sólidos (1 o 2 tipos)	Presencia moderada de basura (más de 3 tipos)	Abundancia de basura
Presencia de estiércol	No hay evidencia cerca del río	Ganado en las riberas sin acceso al río		Estiércol o ganado en el río	Mucho estiércol o tuberías que descargan aguas negras
Aumento de nutrientes de origen orgánicos	No hay algas filamentosas	Crecimiento moderado de algas		Abundancia de algas filamentosas, aguas verdes	Exceso de algas, aguas verdes, celestes o gris o café

Nota: Tabla tomada de López L. (2011)

Una vez realizada la asignación de valores, se debe realizar un promedio de cada parámetros con las valoraciones de cada parámetro, y con un promedio total se colocó un estado del ecosistema, en base a la siguiente tabla de puntuación (Anexo 2)

Anexo 4.

Puntuación final de calidad de ecosistema del índice SVAP

Ámbito de puntajes	Clase
9,6 a 10	Excelente
7,7 a 8,5	Bueno
6,1 a 7,0	Regular
3,1 a 5,3	Pobre
1,0 a 2,2	Muy pobre

Nota: Tabla tomada de Mafla (2005)

Anexo 5.

Abundancia de macroinvertebrados muestreados en los dos muestreos en las vertientes en estudio

Sumak Yaku	
Primer muestreo	Segundo muestreo

<i>Amphipoda</i>	87	17
<i>Astroblepus sp</i>	4	6
<i>Baetidae</i>	14	25
<i>Bivalvia</i>	-	4
<i>Chironomida</i>		
<i>e</i>	-	2
<i>Ostracoda</i>	11	36
<i>Gerridae</i>	-	7
<i>Hydrudinea</i>	5	1
<i>Hydrobiidae</i>	29	56
<i>Libellulidae</i>	2	5
<i>Limnaeidae</i>	7	11
<i>Oligochaeta</i>	9	7
<i>Planorbidae</i>	18	67
<i>Total</i>	186	244

Nota: Abundancia de macroinvertebrados en la vertiente Sumak Yaku

El Poggio		
	Primer muestreo	Segundo muestreo
<i>Amphypoda</i>	54	24

<i>Astroblepus</i> <i>sp</i>	4	2
<i>Baetidae</i>	1	8
<i>Elmidae</i>	1	5
<i>Gerridae</i>	5	6
<i>Hirudinea</i>	1	-
<i>Hydrobiidae</i>	18	86
<i>Hydrophiilida</i> <i>e</i>	1	9
<i>Libellulidae</i>	4	-
<i>Limnaeidae</i>	1	9
<i>Oligochaeta</i>	2	5
<i>Planorbidae</i>	3	2
<i>Tipulidae</i>	1	1
Total	96	157

Nota: Abundancia de macroinvertebrados en la vertiente El Poggio

Hatun Pukyo		
	Primer muestreo	Segundo muestreo
<i>Chironomidae</i>	88	111
<i>Hirudinea</i>	-	4
<i>Hydrophiilida</i> <i>e</i>	4	-
<i>Libellulidae</i>	5	-
<i>Limnaeidae</i>	4	10
<i>Planorbidae</i>	21	14
<i>Tipulidae</i>	-	1
Total	122	140

Nota: Abundancia de macroinvertebrados en la vertiente Hatun Pukyo

Anexo 6

Índice SVAP por cada vertiente con ambas calificaciones

SVAP: Protocolo para la evaluación rápida de ríos y quebradas
Río: Sumak Yaku
Sitio: Araque
Fecha: 23/03/2024

Puntaje Métrico			
Parámetro	Calificación 1	Calificación 2	Promedio
A	10	10	10
B	7	5	6
C	1	1	1
D	1	1	1
E	1	3	2
F	3	3	3
G	1	3	2
H	5	3	4
I	7	5	6
J	7	7	7
K	7	7	7
L	10	7	8.5
M	3	1	2
N	10	7	8.5
O	7	7	7
Suma	80	70	75
Dividido en 15	5.33	4.67	5

Nota: Índice SVAP de la vertiente Sumak Yaku

SVAP: Protocolo para la evaluación rápida de ríos y quebradas			
Río: El Poggio			
Sitio: San Pablo			
Fecha: 23/03/2024			
Puntaje Métrico			
Parámetro	Calificación 1	Calificación 2	Promedio
A	7	10	8.5
B	5	3	4
C	1	3	2
D	1	1	1
E	3	1	2
F	10	10	10
G	1	3	2
H	5	3	4
I	10	10	10
J	7	7	7
K	7	7	7

L	10	7	8.5
M	1	3	2
N	3	7	5
O	10	3	6.5
Suma	81	78	79.5

Dividido en 15	5.40	5.20	5.3
----------------	------	------	-----

Nota: Índice SVAP de la vertiente El Poggio

SVAP: Protocolo para la evaluación rápida de ríos y quebradas			
Río: Hatun Pukyo			
Sitio: San Rafael			
Fecha: 24/03/2024			
Puntaje Métrico			
Parámetro	Calificación 1	Calificación 2	Promedio
A	1	3	2
B	3	5	4
C	1	1	1
D	1	1	1
E	7	1	4
F	1	3	2
G	1	1	1
H	3	3	3
I	7	3	5
J	7	7	7
K	1	1	1
L	10	10	10
M	5	3	4
N	3	3	3
O	1	1	1
Suma	52	46	49
Dividido en 15	3.47	3.07	3.27

Nota: Índice SVAP de la vertiente Hatun Pukyo

Anexo 7.

Registro fotográfico



Nota: Muestreo en Sumak Yaku



Nota: Muestreo en Hatun Pukyo



Nota: Evidencia de uso del afluente El Poggio como abrevadero



Nota: Primera clasificación de macroinvertebrados por familia



Nota: Segunda clasificación de macroinvertebrados muestreados por familia



Nota: Entrevista con el coordinador del departamento de Gestión Ambiental del GAD de la ciudad de Otavalo