



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**INCIDENCIA DEL CAMBIO Y USO DEL SUELO EN EL
ECOTONO HIPORREICO DE LA CUENCA DEL
MACHÁNGARA: VARIABLES FÍSICO-QUÍMICAS Y
MACROBIOTA ASOCIADA (MACROINVERTEBRADOS
BENTÓNICOS)**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

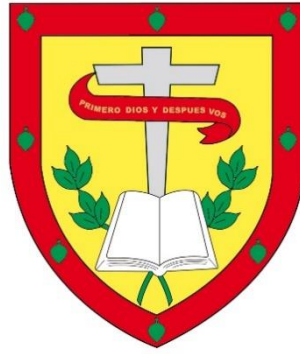
AUTORA: ERIKA PAULINA VANEGAS ARGUDO

DIRECTORA: BLGA. MARJORIE JAZMÍN SALAZAR ORELLANA

CUENCA – ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA
Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**INCIDENCIA DEL CAMBIO Y USO DEL SUELO EN EL ECOTONO
HIPORREICO DE LA CUENCA DEL MACHÁNGARA: VARIABLES
FÍSICO-QUÍMICAS Y MACROBIOTA ASOCIADA
(MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS)**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

AUTORA: ERIKA PAULINA VANEGAS ARGUDO

DIRECTORA: BLGA. MARJORIE JAZMÍN SALAZAR ORELLANA

CUENCA – ECUADOR

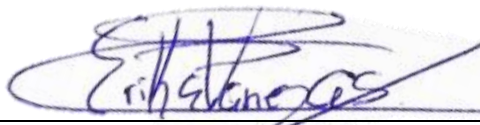
2023

DIOS, PATRIA CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD

Erika Paulina Vanegas Argudo, portadora de la cédula de ciudadanía N.º 0150380582. Declaro ser autora de la obra: “Incidencia del cambio y uso del suelo en el ecotono hiporréico de la Cuenca del Machángara: variables físico-químicas y macrobiota asociada (macroinvertebrados bentónicos)”, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 20 de octubre de 2023



Erika Paulina Vanegas Argudo

0150380582

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Erika Paulina Vanegas Argudo, bajo mi supervisión.

**MARJORIE
JAZMIN
SALAZAR
ORELLANA**

Firmado
digitalmente por
MARJORIE JAZMIN
SALAZAR ORELLANA
Fecha: 2023.10.17
23:13:34 -05'00'

Blga. Marjorie Jazmín Salazar Orellana

DIRECTORA

www.ucacue.edu.ec

DEDICATORIA

Quiero dedicar mi tesis a toda mi familia, quienes han estado a mi lado tanto en los momentos más oscuros como en los más felices de mi vida. Gracias a ellos, he logrado convertirme en la persona que soy hoy en día. Quiero hacer una mención especial a Esthela, Valeria y mi querida mamita Charo, quienes a lo largo de toda mi vida me han brindado su inquebrantable apoyo y cuidado. Juntas hemos enfrentado y superado cada adversidad que la vida nos ha presentado, y quiero expresarles mi amor eterno con todo mi corazón.

A mi querida Bony, quien ahora descansa en el cielo, quiero dedicarle un lugar especial en estas palabras. Siempre has estado a mi lado, incluso en los momentos en que ya no pudiste acompañarme físicamente. Tu recuerdo y amor siguen iluminando mi camino.

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo, quiero expresar mi profundo agradecimiento a Dios y a la Virgen María por ser las guías fundamentales en mi vida. También deseo extender mi gratitud a mis padres, con un reconocimiento especial hacia mi madre, Mónica, ya que, sin su apoyo incondicional, no habría logrado culminar mis estudios. Además, quiero dar las gracias a mi tía Esthela y a mi querida mamita Charo, quienes, con su cariño y respaldo, contribuyeron significativamente a mi formación como persona.

Esta tesis es el resultado de años de esfuerzo, dedicación y trabajo arduo, y no habría sido posible sin el apoyo constante y el amor de mi familia. Espero que este logro les llene de orgullo tanto como a mí, y quiero expresar mi profundo agradecimiento por todo lo que han hecho por mí a lo largo de los años. Su presencia en mi vida ha sido invaluable, y sé que seguirán siendo una parte fundamental de mi camino hacia el futuro.

También deseo expresar mi sincero agradecimiento a mi tutora de tesis, Jazmín Salazar, por su orientación. Además, quiero extender mi gratitud a todos los colaboradores del CITT, en especial a Maru y Pablito, cuya contribución fue esencial.

No puedo dejar de mencionar a mis compañeros de clase, en particular a Mariela, Eduarda y Mateo, quienes compartieron conmigo cinco años de risas, bailes y momentos inolvidables. Su amistad hizo que mi experiencia universitaria fuera aún más enriquecedora y divertida.

En resumen, quiero agradecer de corazón a todas las personas que han estado presentes en mi camino, guiándome y apoyándome en cada paso de esta travesía académica. Sus contribuciones han sido invaluable, y estaré eternamente agradecida por ello.

RESUMEN

El cambio de uso de suelo es un fenómeno crucial que ha transformado paisajes y comunidades humanas en las últimas décadas. Áreas antes cubiertas por bosques naturales y páramo han sido reemplazadas por tierras agrícolas y zonas urbanas, generando impactos significativos en el entorno y la sociedad. Un estudio detallado se llevó a cabo en la cuenca del Río Machángara, analizando la calidad del agua en cinco puntos a lo largo del río. Los resultados revelaron una disminución en la calidad del agua a medida que esta fluía desde los páramos hasta la ciudad. Se utilizaron imágenes satelitales para rastrear los cambios desde 2018 hasta 2023, evidenciando una expansión urbana en Graiman y Ochoa León, así como deforestación y conversión a tierras agrícolas en Las Truchas y Ochoa León. Estos cambios están directamente relacionados con las actividades humanas. La transformación de áreas forestales a zonas urbanas o agrícolas aumenta la carga de contaminantes y disminuye la biodiversidad acuática. El estudio estableció conexiones significativas entre las variables físico-químicas y biológicas del agua y los cambios en el uso del suelo, especialmente en el área poblada de Graiman. La presencia de fosfatos, sólidos suspendidos y amonio se correlacionó con una menor biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos y, por ende, con una mala calidad del agua. Estos subrayan la importancia de tomar medidas efectivas para proteger la calidad del agua y mantener el equilibrio ecológico en la cuenca del Río Machángara.

Palabras clave: uso de suelo, biodiversidad, ecotono, zona hiporréica, macroinvertebrados bentónicos.

ABSTRACT

Land use change is a crucial phenomenon that has transformed landscapes and human communities in recent decades. Areas once covered by natural forests and moors have been replaced by agricultural land and urban areas, significantly impacting the environment and society. A comprehensive study was conducted in the Machángara River basin, analyzing water quality at five points along the river. The results revealed a decline in water quality as water flowed from the moors to the city. Satellite imagery was used to track changes from 2018 to 2023, evidencing urban expansion in Graiman and Ochoa León, and deforestation and conversion to agricultural land in Las Truchas and Ochoa León. These changes are directly related to human activities. The transformation of forested areas into urban or agricultural zones increases the load of pollutants and reduces aquatic biodiversity. The study established significant connections between physicochemical and biological water variables and changes in land use, especially in the populated area of Graiman. The presence of phosphates, suspended solids, and ammonium correlated with lower benthic macroinvertebrate biodiversity and, thus, poor water quality. This highlights the importance of taking adequate measures to protect water quality and maintain the ecological equilibrium in the Machángara River basin.

Keywords: land use, biodiversity, ecotone, hyporrheic zone, benthic macroinvertebrates.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARATORIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD _____	I
CERTIFICACIÓN _____	II
DEDICATORIA _____	III
AGRADECIMIENTOS _____	IV
RESUMEN _____	V
ABSTRACT _____	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS _____	VII
LISTA DE FIGURAS _____	IX
LISTA DE TABLAS _____	X
LISTA DE ANEXOS _____	XI
CAPÍTULO I _____	- 1 -
1. INTRODUCCIÓN _____	- 1 -
CAPÍTULO II _____	- 3 -
2. REVISIÓN DE LITERATURA _____	- 3 -
2.1 SUELO _____	- 3 -
2.1.1 <i>Cambios de usos del suelo</i> _____	- 4 -
2.1.2 <i>Incidencia del suelo sobre el agua</i> _____	- 5 -
2.2 AGUA _____	- 6 -
2.2.1 <i>Fuentes hídricas</i> _____	- 6 -
2.2.2 <i>Cuenca Hidrográfica</i> _____	- 6 -
2.2.2.1. <i>Actividades dentro de una cuenca</i> _____	- 7 -
2.2.3 <i>Importancia del agua</i> _____	- 7 -
2.2.4 <i>Contaminación del agua</i> _____	- 8 -
2.2.5 <i>Afecciones de la mala calidad del agua en la salud</i> _____	- 9 -
2.2.6 <i>Incidencia del cambio climático en la cantidad y calidad del agua</i> _____	- 9 -
2.2.7 <i>Calidad del agua</i> _____	- 9 -
2.2.8 <i>Parámetros físicos</i> _____	- 9 -
2.2.9 <i>Parámetros químicos</i> _____	- 10 -
2.2.10 <i>Parámetros biológicos</i> _____	- 11 -
22.10.2. <i>Grupo de trabajo para el monitoreo biológico adaptado a Colombia(BMWP/COL)</i> -	12 -
2.3 ECOTONO _____	- 14 -
2.4 ZONA HIPORRÉICA _____	- 14 -
2.4.1 <i>Intercambio térmico de la zona hiporréica (ZH)</i> _____	- 15 -
2.5 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA _____	- 15 -
2.5.1 <i>Imágenes satelitales</i> _____	- 16 -
2.5.2 <i>Landsat</i> _____	- 16 -
2.5.3 <i>Landsat-7</i> _____	- 16 -
2.6 CORRELACIÓN _____	- 17 -
2.6.1 <i>Análisis de correspondencia canónica (CCA)</i> _____	- 17 -
2.7 MARCO LEGAL _____	- 17 -
2.7.1 <i>Constitución de la República del Ecuador</i> _____	- 17 -
2.7.2 <i>Código orgánico del ambiente (COA)</i> _____	- 18 -
CAPÍTULO III _____	- 19 -

3. MATERIALES Y MÉTODOS	- 19 -
3.1	ÁREA DE ESTUDIO - 19 -
3.2	PUNTOS DE MUESTREO - 20 -
3.3	TRABAJO DE CAMPO - 21 -
3.3.1	Toma de muestras del agua - 21 -
3.3.2	Conservación y etiquetado de la muestra - 21 -
3.3.3	Parámetros físico-químicos in-situ - 21 -
3.3.4	Metodología para la colecta de macroinvertebrados bentónicos - 22 -
3.3.5	Temperatura de la Zona Hiporréica - 22 -
3.4	ANÁLISIS DE LABORATORIO - 22 -
3.4.1	Análisis físico-químico ex-situ - 22 -
3.4.2	Clasificación de macroinvertebrados - 23 -
3.4.3	Cambio del uso del suelo - 24 -
3.5	ANÁLISIS DE DATOS - 25 -
3.5.1	Índice BMWP/COL - 25 -
3.5.2	Correlación de datos - 25 -
CAPÍTULO IV	- 26 -
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	- 26 -
4.1	RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICO: IN-SITU - 26 -
4.1.1	Conductividad - 26 -
4.1.2	pH - 26 -
4.1.3	Sólidos disueltos - 27 -
4.1.4	Temperatura - 28 -
4.2	RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO- QUÍMICOS: EXSITU - 29 -
4.2.1	Nitratos - 29 -
4.2.2	Amonio - 30 -
4.2.3	Sulfatos - 30 -
4.2.4	Demanda química de oxígeno - 31 -
4.2.5	Fosfatos - 32 -
4.2.6	Hierro - 33 -
4.2.7	Sólidos suspendidos - 33 -
4.3	RESULTADOS DE LOS MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS - 34 -
4.4	RESULTADOS DE BMWP/COL - 38 -
4.5	RESULTADOS DE LA TEMPERATURA DE LA ZONA HIPORRÉICA - 40 -
	- 40 -
4.6	RESULTADOS DEL CAMBIO DE USO DE SUELO ENTRE LOS AÑOS 2018-2023 - 41 -
4.7	CORRELACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, BIOLÓGICOS Y USO DE SUELO. - 44 -
CAPÍTULO V	- 46 -
5. CONCLUSIONES	- 46 -
CAPÍTULO VI	- 47 -
6. RECOMENDACIONES	- 47 -
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	- 48 -
ANEXOS	- 56 -

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la cuenca del Machángara	- 19 -
Figura 2. Mapa de los puntos de muestre en la cuenca del Machángara.	- 20 -
Figura 3 Imagen satelital del año 2018	- 24 -
Figura 4 Imagen satelital del año 2023	- 24 -
Figura 5. Monitoreo de la conductividad	- 26 -
Figura 6. Monitoreo del potencial de hidrógeno (pH)	- 27 -
Figura 7. Monitoreo de los sólidos disueltos	- 28 -
Figura 8. Monitoreo de la temperatura	- 29 -
Figura 9. Monitoreo de nitratos	- 29 -
Figura 10. Monitoreo de amonio	- 30 -
Figura 11. Monitoreo de sulfatos	- 31 -
Figura 12. Monitoreo de DQO	- 32 -
Figura 13. Monitoreo de Fosfatos	- 32 -
Figura 14. Monitoreo de hierro	- 33 -
Figura 15. Monitoreo de los sólidos suspendidos	- 34 -
Figura 16. Temperatura de la zona hiporréica en diferentes localidades: a) La Unión, b) Saymirín, c) Las Truchas, d) Ochoa León, e) Graiman	- 40 -
Figura 17. Uso del suelo en la cuenca del Machángara en los años 2018 y 2023	- 43 -
Figura 18. Correlación de los parámetros físico-químico con el uso del suelo	- 44 -
Figura 19. Correlación del uso del suelo con la riqueza y abundancia de macroinvertebrados	- 45 -
Figura 21. Imagen del punto de La Unión	- 56 -
Figura 22. Imagen del punto de Saymirín	- 56 -
Figura 23. Imagen del punto de Las Truchas	- 56 -
Figura 24. Imagen del punto de Ochoa León	- 56 -
Figura 25. Imagen del punto de Graiman	- 56 -
Figura 26. Imagen del multiparamétrico utilizado para el estudio in-situ	- 57 -
Figura 27. Imagen del shaker utilizado en el laboratorio	- 57 -
Figura 28. Imagen de las muestras de macroinvertebrados encontrados	- 57 -
Figura 29. Imagen de los frascos utilizados para envasar los macroinvertebrados	- 57 -
Figura 30. Imagen de las botellas con las muestras dentro del cooler	- 57 -
Figura 31. Imagen del laboratorio con las herramientas utilizadas para la clasificación de los macroinvertebrados	- 58 -
Figura 32. Imagen del macroinvertebrado perteneciente a la familia Calamoceratidae	- 61 -
Figura 33. Imagen del macroinvertebrado perteneciente a la familia Dugesiidae	- 61 -
Figura 34. Imagen del macroinvertebrado perteneciente a la familia Arachnida	- 62 -
Figura 35. Imagen del macroinvertebrado perteneciente a la familia Hydroptilidae	- 62 -
Figura 36. Imagen del macroinvertebrado perteneciente a la familia Baetidae	- 62 -
Figura 37. Imagen del macroinvertebrado perteneciente a la familia Limoniidae	- 62 -
Figura 38. Imagen del macroinvertebrado	- 62 -

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Ventajas y desventajas de los macroinvertebrados</i>	- 12 -
<i>Tabla 2: Valores de referencia del índice BMWP/Col con su respectivo color y significado</i>	- 12 -
<i>Tabla 3. Puntaje de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/COL</i>	- 13 -
<i>Tabla 4. Coordenadas de los puntos de monitoreo del estudio.</i>	- 21 -
<i>Tabla 5. Métodos aplicados para el análisis del laboratorio</i>	- 23 -
<i>Tabla 6. Características de las imágenes satelitales utilizadas en el estudio</i>	- 24 -
<i>Tabla 7. Macroinvertebrados La Unión</i>	- 35 -
<i>Tabla 8. Macroinvertebrados de Saymirín.</i>	- 35 -
<i>Tabla 9. Macroinvertebrados bentónicos Las Truchas</i>	- 36 -
<i>Tabla 10. Macroinvertebrados bentónicos de Ochoa león</i>	- 37 -
<i>Tabla 11. Macroinvertebrados del punto de Graiman</i>	- 38 -
<i>Tabla 12. Índice de la calidad del agua</i>	- 38 -
<i>Tabla 13. Tabla de cambio de uso de suelo entre los años 2018-2023</i>	- 42 -

LISTA DE ANEXOS

<i>Anexo 1 Imágenes de los lugares de estudio en la cuenca del Machángara</i>	- 56 -
<i>Anexo 2. Fotografías de las herramientas utilizadas</i>	- 57 -
<i>Anexo 3 Número de macroinvertebrados bentónicos encontrados en el mes de Abril en los cinco puntos de monitoreo</i>	- 58 -
<i>Anexo 4. Número de macroinvertebrados bentónicos encontrados en el mes de Mayo en los cinco puntos de monitoreo</i>	- 59 -
<i>Anexo 5 Numero de macroinvertebrados encontrados en el mes de Junio en los puntos de monitoreo</i>	- 60 -
<i>Anexo 6. Número de macroinvertebrados encontrados en el mes de Julio en los puntos de monitoreo</i>	- 60 -
<i>Anexo 7. Fotografías de los macroinvertebrados con su respectiva clasificación por familia</i>	- 61 -
<i>Anexo 8. Uso del suelo en el año 2023 en cada punto de monitoreo</i>	- 63 -
<i>Anexo 9. Marco legal de la Constitución del Ecuador y el COA</i>	- 63 -
<i>Anexo 10. Análisis físico-químico del agua en los cinco puntos de muestreo en los diferentes meses de monitoreo</i>	- 67 -
<i>Anexo 11. Límites máximo permisible de la normativa del TULSMA</i>	- 71 -

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de los últimos 300 años los humanos han cambiado la superficie del planeta, con actividades invasivas como la deforestación, uso de métodos agrícolas tradicionales, el aumento de la producción agrícola y el crecimiento de las zonas urbanas (Aguayo et al., 2009a). El continente que experimenta la mayor reducción en la extensión de sus bosques es Sudamérica, con una disminución del 0,5% de su área forestal total. Además, en términos de tasa de deforestación con relación al área, Ecuador tiene una pérdida del área boscosa del 1,7% (Crespo et al., 2008).

En la cuenca del Machángara en lo referente al uso del suelo la actividad agropecuaria ha tenido un decremento de área del 15,6% al 7,1% entre los años 1995 y 2010, la disminución evidenciada se da especialmente por el aumento de las áreas urbanas no consolidada en la parte baja de la cuenca (Luis & Díaz-Espinoza, 2015). La zona hiporréica es un área importante en los ecosistemas, ya que ofrece varios servicios beneficiosos. Uno de los principales servicios es la filtración y depuración del agua, lo que ayuda a mantener un recurso hídrico de alta calidad a largo plazo. Además, esta zona también regula el flujo de agua y almacena y transforma la materia orgánica (Ballesteros et al., 2022).

La zona hiporréica es un refugio para muchos invertebrados juveniles que migran desde la zona bentónica para protegerse de condiciones ambientales desfavorables. A pesar de su importancia, esta zona está amenazada debido a las actividades humanas y es la menos protegida por la legislación a nivel mundial (Rasines, 2017a). En la zona hiporréica, la mayoría de los procesos ocurren en el sedimento, y su forma y tamaño son importantes para determinar las propiedades asociadas a su funcionamiento, como la porosidad y la permeabilidad. La permeabilidad regula el flujo hiporréico y afecta las condiciones fisicoquímicas al influir en el tiempo de retención del agua (García, 2021).

El estudio de la zona hiporréica incluye el análisis de la dimensión vertical y de los vínculos entre las aguas superficiales y subterráneas. Este intercambio vertical ocasiona discontinuidades fisicoquímicas en la zona hiporréica incide en las concentraciones de oxígeno disuelto, las condiciones térmicas, los niveles de nutrientes, los flujos metabólicos y los procesos asociados a la descomposición de la materia orgánica en los ecosistemas acuáticos. Se generan así diversos microhábitats para la fauna hiporréica asociada, dado que las variaciones en los factores fisicoquímicos interactúan con la biota e inciden sobre su composición (Ballesteros et al., 2022).

El uso del suelo tiene mucha incidencia en la calidad del agua subterránea y, por lo tanto, en la zona hiporréica (Aguayo et al., 2009b). Las actividades antrópicas pueden alterar el ecotono hiporréico denominada así a la zona de transición entre el agua subterránea y la superficie terrestre es un hábitat crítico para una variedad de organismos acuáticos y terrestres

La modificación del uso del suelo, denominada a la implementación de urbes, la agricultura intensiva y la tala de bosques, puede aumentar la escorrentía superficial, lo que a su vez puede provocar una disminución en la infiltración de agua en el suelo y reducir la recarga de agua subterránea y en el ecotono, lo que puede tener un impacto negativo en la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas. Por lo tanto, el uso del suelo puede tener una incidencia significativo en la calidad del agua subterránea y, consecuentemente, en el ecotono hiporréico. Es importante tomar medidas para proteger este hábitat crítico y garantizar su conservación a largo plazo.

En este estudio, se investigará el uso del suelo a lo largo de la cuenca del Machángara y cómo afecta a la calidad del agua en la zona hiporréica durante las estaciones de lluvia y sequía. También se analizarán los impactos en los macroinvertebrados bentónicos, que son utilizados como bioindicadores de la calidad del agua. Para ello, se utilizarán imágenes satelitales Landsat para definir los cambios en el uso del suelo entre los años 2012 y 2022, para así poder comprender cómo los cambios en el uso del suelo pueden influir en la calidad del agua y en la vida acuática en la zona hiporréica.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo General

Determinar la incidencia del uso del suelo sobre el ecotono hiporréico de la Cuenca del Machángara mediante levantamiento de información primaria e imágenes satelitales y análisis de parámetros físico-químicos y biológicos

1.1.2. Objetivos Específicos

- Determinar las actividades antrópicas sobre el uso del suelo mediante análisis de imágenes satelitales en el año 2018 y 2023 para establecer los cambios existentes.
- Establecer la calidad del agua con algunos parámetros tomados in-situ y otros analizados en laboratorio incluyendo el parámetro biológico de macroinvertebrados bentónicos, comparar los parámetros físico-químicos con la normativa del TULSMA y calcular el índice biótico del BMWPCOL para conocer el estado ecológico de la Cuenca del Machángara.
- Realizar el estudio comparativo entre las variables físico-químicas y biológicas con los cambios de uso de suelo mediante el análisis de correspondencia canónica para establecer su incidencia sobre estas variables.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Suelo

El término "suelo" adquiere distintos significados según a quién se consulte. Para la mayoría de los residentes urbanos, suena a suciedad, polvo o fango. Para un ingeniero civil o un arquitecto, representa un área de trabajo, una base que debe ser moldeada o retirada para construir infraestructuras. Los biólogos ven en el suelo un entorno intrigante, aunque poco explorado, mientras que los ecólogos lo consideran un escenario crucial para diversos ciclos biogeoquímicos y la restauración de ecosistemas. Desde la perspectiva de los hidrólogos, el suelo desempeña una función de un depósito de agua y un purificador natural, cumpliendo una función esencial en la mitigación de inundaciones. Ninguna de estas perspectivas es incorrecta, sin embargo, el suelo va más allá ya que puede ser visto como la superficie de la tierra, un elemento esencial para la existencia que se muestra muy débil. Una definición más consensuada a nivel global describe el suelo como cualquier material (Vargas et al., 2014).

El suelo es un componente fundamental del entorno natural y desempeña una función esencial en la sustentabilidad de la vida en la Tierra. El suelo es la piel de la tierra, la superficie que sostiene y alimenta a la humanidad, es un recurso invaluable que merece nuestro respeto y cuidado (Leonard & Conrad, 2018). A menudo, tendemos a percibir el suelo como simplemente el lugar donde construimos las moradas y ciudades, o como el terreno donde las plantas crecen y los animales cohabitan en el medio rural, esta visión limitada restringe la comprensión del suelo y su verdadero valor, ya que lo consideramos únicamente como el límite inferior de la atmósfera (Andrades & Martínez, 2022). En la actualidad no se toma en cuenta la importancia de preservar el suelo para las generaciones futuras.

Sin embargo, es en las zonas rurales donde el suelo adquiere una relevancia aún más crucial, ya que es allí donde se produce el alimento que sustenta a la población en general. Lamentablemente, en años recientes se ha sido testigo de una erosión avanzada que está reduciendo las áreas de producción agrícola y poniendo en peligro la capacidad para alimentar (Rodríguez & Villar, 1993). La necesidad de recuperar y conservar nuestros suelos se ha vuelto apremiante.

Es necesario comprender que el suelo es mucho más que un simple soporte físico. Es un sistema vivo y complejo, formado por minerales, agua, aire, microorganismos y materia orgánica en constante interacción. Es el hogar de una vasta red de organismos, desde bacterias y hongos hasta lombrices y pequeños insectos, que desempeñan un papel fundamental en los ciclos biogeoquímicos y la fertilidad del suelo (Valdés & Cano-Santana, 2005).

Además, el suelo actúa como un filtro natural, purificando el agua y regulando su flujo. También es un almacén de carbono, ayudando a mitigar el cambio climático al absorber y retener grandes cantidades de dióxido de carbono. Incluso, posee un valor estético y cultural, ya que ha sido fuente de inspiración para poetas, artistas y escritores a lo largo de la historia (Mestanza, 2014). Por lo tanto, es fundamental que se tome conciencia de la importancia del suelo y adoptar prácticas sostenibles de manejo agrícola y urbano. Se necesita implementar técnicas de conservación que prevengan la erosión, promover la rotación de cultivos y el uso de abonos orgánicos, y fomentar la reforestación y la restauración de ecosistemas degradados (Sarabia & Rucabado, 2016). Solo de esta manera se podrá garantizar la salud y la productividad de los suelos para las generaciones futuras y asegurar un futuro sostenible para el planeta.

2.1.1 Cambios de usos del suelo

A lo largo de los años ha sido un tema de gran interés y preocupación en todo el mundo. Conforme ha aumentado la cantidad de habitantes y las necesidades humanas han evolucionado, el paisaje ha experimentado transformaciones significativas para satisfacer estas demandas. Desde la antigüedad hasta la actualidad, se ha sido testigos de cambios drásticos en cómo se utiliza la tierra, lo que ha tenido profundas implicaciones tanto para el medio ambiente como para la sociedad (Mary, 2016).

Históricamente, las comunidades humanas han dependido en gran medida de la agricultura como su fuente de subsistencia. La necesidad de producir alimentos ha llevado al cuidado de la tierra en campos de cultivo y pastizales. A medida que las civilizaciones antiguas crecían y se desarrollaban, también lo hacía la presión sobre el suelo (Eskelner et al., 2013) Se implementaron técnicas de irrigación y sistemas de terrazas para maximizar la producción agrícola, lo que a menudo llevaba a la tala de bosques y deterioro del suelo.

Cuando la Revolución Industrial se instauró en los siglos XVIII y XIX, el panorama del uso del suelo experimentó un cambio radical. El aumento de las áreas urbanas y desarrollo de la actividad industriales llevaron a la expansión de áreas urbanas y a la transformación de tierras agrícolas en áreas industriales (Pipitone, 2020). El desarrollo de la infraestructura, como carreteras y vías férreas, también implicó la alteración del paisaje natural. A medida que las áreas urbanas se expandían, los ecosistemas naturales fueron fragmentados y destruidos, y muchas especies perdieron su hábitat (Echeverría et al., 2011).

En el siglo XX, a medida que la urbanización se expande y la población crece, el uso del suelo se volvió aún más diversificado (Beuf, 2012). Las áreas urbanas se expandieron rápidamente para dar cabida a la creciente población y las necesidades de vivienda, comercio e infraestructura, al mismo tiempo, se intensificó la agricultura industrial, con el uso de tecnología avanzada, pesticidas y fertilizantes químicos (Márquez, 1850). Esto permitió aumentar la elaboración de alimentos, pero también tuvo efectos significativos en la calidad del suelo y los recursos hídricos, además, se observó un aumento en la conversión de tierras forestales y áreas naturales en plantaciones comerciales, como la fabricación de aceite de palma y la explotación maderera a gran escala (Andrade et al., 2013).

En las últimas décadas, se ha desarrollado una creciente comprensión acerca de la importancia de la conservación del suelo y la adopción de prácticas sostenibles. Se han implementado políticas y programas para proteger los ecosistemas naturales, promover la agricultura orgánica, restaurar tierras degradadas y fomentar el desarrollo urbano sostenible (Altieri Soto & Nicholls, 2000). La planificación del uso del suelo se ha vuelto crucial para equilibrar las necesidades humanas con la preservación del medio ambiente.

En el Ecuador, el cambio de uso de suelo está regulado por la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo (LOOTUGS), promulgada en 2010, esta ley establece los principios, normas y procedimientos para la planificación territorial y la utilización sostenible del suelo en el país (Loya & Quillupangui, 2021). Según la LOOTUGS, el cambio de uso de suelo implica modificar la categoría de uso asignada a un determinado terreno, estas categorías pueden incluir áreas urbanas, rurales, de conservación, agrícolas, forestales, entre otras (LOOTUGS, 2016).

Es importante destacar que la LOOTUGS establece que los cambios de uso de suelo deben realizarse de manera planificada, considerando criterios técnicos, ambientales, sociales y económicos. Además, es necesario llevar a cabo evaluaciones de los efectos ambientales y contar con la participación de la comunidad en el proceso de determinación de medidas (Benalcázar, 2022). Es recomendable consultar la legislación y las instituciones relevantes en Ecuador para obtener

información actualizada sobre los procedimientos y requisitos específicos para el cambio de uso de suelo en el país, ya que, en el Ecuador, se han producido diversas modificaciones en la utilización de terreno a lo largo de las décadas. Según Cárdenas (2022) se presentan algunos de los principales cambios observados:

1. Deforestación: Uno de los cambios más significativos ha sido la pérdida de bosques debido a la deforestación. La tala indiscriminada de árboles ha llevado a la transformación de áreas boscosas en tierras agrícolas y pastizales.
2. Expansión agrícola: El incremento de la demanda de alimentos ha impulsado la ampliación de la extensión dedicada a la agricultura en Ecuador. Se han convertido grandes extensiones de tierras forestales y otros ecosistemas en cultivos como banano, cacao, palma africana y otros productos agrícolas.
3. Urbanización: Ha llevado a la conversión de tierras agrícolas y áreas naturales en zonas urbanas y suburbanas. Las ciudades han experimentado un aumento en la construcción de viviendas, infraestructuras y servicios, lo que ha implicado la transformación del suelo.
4. Expansión de la ganadería: La ganadería extensiva ha generado alteraciones en el uso del suelo, especialmente en áreas de pastizales. La ampliación de las áreas dedicadas a la cría de ganado ha llevado a la transformación de ecosistemas naturales en áreas de pastoreo.
5. Minería: La actividad minera, especialmente la minería a gran escala ha tenido un impacto significativo en el uso del suelo en algunas regiones de Ecuador. La extracción de minerales ha implicado la remoción de capas de suelo y la alteración de los ecosistemas locales.

Es relevante subrayar que las modificaciones en la utilización de la tierra han ocasionado impactos medioambientales, tales como la disminución de la diversidad biológica, el deterioro del terreno, la erosión y la polución de los recursos naturales. No obstante, durante los últimos años, Ecuador ha adoptado acciones para fomentar la preservación y la explotación sostenible del suelo, así como la rehabilitación de ecosistemas degradados (Aguirre, 2012).

2.1.2 Incidencia del suelo sobre el agua

El suelo es un componente fundamental en el ciclo del agua, ya que actúa como un reservorio, un filtro y un regulador de los flujos hídricos, sus características físicas, químicas y biológicas determinan en gran medida la calidad y la disponibilidad del agua tanto para los ecosistemas y las personas (Artieda, 2015).

En primer lugar, el suelo juega un papel crucial en la retención y almacenamiento del agua. Los suelos con alta capacidad de retención pueden almacenar grandes cantidades de agua, lo que es especialmente importante en regiones con estaciones secas o en áreas propensas a la sequía (Artieda, 2015). Además, el suelo actúa como un reservorio natural, liberando gradualmente el agua almacenada a medida que las plantas y los organismos lo demandan, regulando así los flujos hídricos y previniendo inundaciones y deslizamientos de tierra (Velasco, 2012).

Además, el suelo desempeña un papel fundamental en la regulación del ciclo hidrológico. A través de la liberación de humedad de las plantas y la evaporación, el agua es devuelta al ambiente en forma de vapor, contribuyendo a la formación de nubes y a la precipitación. Los suelos saludables y bien cubiertos de vegetación promueven una mayor infiltración y retención del agua, lo que a su vez alimenta los caudales de los ríos y mantiene la humedad en los ecosistemas terrestres. Sin embargo, cuando el suelo está degradado o expuesto, se reduce su capacidad para retener el agua, lo que conduce a la erosión (Labrador, 2008).

2.2 Agua

Representa un fluido esencial para la existencia en la Tierra, con una fórmula química H₂O. Es considerado un solvente universal por la polaridad de la molécula y la distribución de las cargas eléctricas (Romero, 2002). El agua es una molécula altamente polar debido a la electronegatividad del oxígeno. Esta polaridad da lugar a una serie de propiedades importantes del agua, incluyendo su capacidad para establecer enlaces de hidrógeno, su alto punto de ebullición y su capacidad para disolver muchas sustancias polares (Allinger, 1983).

Las aguas en la superficie son muy propicias a la contaminación debido a la práctica tradicional de verter residuos por parte de la industria y las poblaciones. Cuando hay una gran cantidad de materia orgánica presente en el agua, esto favorece el crecimiento de algas y macrófitas. Estos organismos pueden proliferar rápidamente y formar densas colonias en la superficie del agua, lo que se conoce como floraciones de algas. Estas floraciones pueden tener efectos negativos en el ecosistema acuático y en la calidad del agua causando problemas como la disminución de la concentración de oxígeno, afectando la vida acuática (Laughinghouse et al., 2022)

2.2.1 Fuentes hídricas

También son conocidas también como fuentes de agua, son diversas fuentes naturales de agua presentes en la superficie terrestre y bajo ella. Estas fuentes abarcan cuerpos de agua en la superficie y aguas subterráneas, y son de suma importancia para mantener la vida en el planeta, ya que, proveen agua para el consumo humano, la agricultura, la industria, y también son fundamentales para preservar los ecosistemas y la biodiversidad. Según Sánchez (2011) las fuentes hídricas se clasifican en:

- a) **Ríos y arroyos:** Estos son cursos de agua que fluyen por la superficie, transportando el agua desde áreas elevadas hacia zonas más bajas.
- b) **Lagos y lagunas:** Son cuerpos de agua estancada, generalmente de considerable tamaño, que pueden formarse debido a la acción de ríos, glaciares o actividad volcánica.
- c) **Embalses y represas:** Son estructuras artificiales creadas para almacenar grandes volúmenes de agua, con fines como la generación de energía.
- d) **Acuíferos:** Se refieren a formaciones subterráneas que almacenan agua en rocas permeables. Estos acuíferos son necesarios para el suministro de agua subterránea y se extraen mediante pozos.
- e) **Glaciares y casquetes de hielo:** Son extensas masas de hielo presentes en zonas polares y montañosas, que cumplen la función de importantes reservorios de agua dulce.
- f) **Manantiales y fuentes:** Son puntos donde el agua subterránea emerge naturalmente a la superficie.
- g) **Humedales:** Se trata de áreas de tierra que se encuentran inundadas o saturadas de agua de forma permanente o estacional, y pueden desempeñar un papel crucial como filtros naturales y hábitats vitales para la flora y fauna.

2.2.2 Cuenca Hidrográfica

Es una región geográfica que engloba un espacio terrestre en el cual todas las precipitaciones y el escurrimiento de agua convergen hacia un punto central, que por lo general corresponde a un río principal, un lago o el mar. También se le conoce como cuenca de drenaje, cuenca fluvial o cuenca de agua (Bocel, 2016). La cuenca hidrográfica se define por los límites naturales de las montañas, las colinas o los picos que la rodean. Estos límites topográficos determinan cómo fluye el agua dentro de la cuenca. Todas las corrientes de agua, arroyos, ríos y afluentes dentro de esa área geográfica convergen hacia un punto de salida común (Burgos & Bocco, 2015).

Según Faustino & Jiménez (2000) el concepto de cuenca hidrográfica es esencial para comprender el ciclo del agua y cómo otros elementos del medio ambiente interactúan entre sí. La

lluvia que cae dentro de la cuenca se recoge y se acumula en forma de ríos y arroyos, que luego se canalizan hacia el punto de salida, como un río principal. Esta agua fluye a través de la cuenca, transportando sedimentos, nutrientes y contaminantes, influyendo en el paisaje y afectando la biodiversidad y los ecosistemas locales

Las cuencas hidrográficas son fundamentales para el suministro de agua a las poblaciones humanas, ya que proporciona agua necesaria. Además, son vitales para el equilibrio ecológico, ya que mantienen una diversidad de ecosistemas acuáticos y terrestres, y alojan a una gran cantidad de especies vegetales y animales (Aguirre, 2011). La planificación y coordinación entre diferentes actores y países que comparten una cuenca hidrográfica son cruciales para evitar conflictos y maximizar los beneficios para todas las partes involucradas (Aguirre, 2011).

2.2.2.1. Actividades dentro de una cuenca

En el interior de una cuenca, se desarrollan una variación de actividades que pueden diferir según las particularidades propias de la cuenca y los requerimientos de la población que reside en su área. Según Aguirre (2011) algunas de las actividades comunes dentro de una cuenca son las siguientes:

- Agricultura: Los agricultores utilizan el agua de los ríos y arroyos para el riego y la producción de alimentos. Dependiendo de la escala y las técnicas utilizadas, puede tratarse de cultivos de subsistencia o de grandes explotaciones comerciales.
- Ganadería: Los pastizales y las áreas de pastoreo dentro de la cuenca brindan alimento y agua para el ganado.
- Industria: Las industrias pueden extraer agua para sus procesos de fabricación, enfriamiento de maquinarias, generación de energía hidroeléctrica, entre otros usos. Es importante regular y controlar estas actividades industriales para reducir los efectos adversos en el agua.
- Turismo: Muchas cuencas hidrográficas son atractivas para el turismo debido a su belleza natural, la presencia de ríos y lagos, y las actividades recreativas que ofrecen, como el kayak, la pesca, el senderismo y el turismo fluvial. El turismo sostenible en las cuencas puede generar ingresos económicos para las comunidades locales, pero también es necesario implementar medidas de conservación para proteger los recursos naturales.

2.2.3 Importancia del agua

Es un recurso natural ampliamente presente en nuestro mundo, juega un rol fundamental en la preservación de la sustentabilidad (ONU, 2015). Desde hace tiempos, ha sido venerada como un elemento esencial para la existencia y el desarrollo de todas las formas de vida. Su influencia se extiende desde los ecosistemas más remotos hasta la compleja red de sistemas que conforman nuestra sociedad (Hofstede et al., 2003).

- Sostén para la vida: El agua es fundamental para el funcionamiento de los individuos. Es esencial para el desarrollo celular, el transporte de nutrientes y la regulación de la temperatura corporal (Guerrero, 2010).
- Ecosistema y biodiversidad: La biodiversidad marina, en particular, es vital para la seguridad alimentaria y el equilibrio ecológico (Worm et al., 2006).
- Seguridad alimentaria: El agua es un componente indispensable en la elaboración de suministros. La agricultura, tanto a gran escala como en pequeñas comunidades agrícolas, depende de sistemas de riego y de precipitaciones adecuadas para lograr cosechas abundantes y saludables (Siebert et al., 2005).
- Impacto del cambio climático: Este afecta a los patrones de precipitación y el ciclo hidrológico en todo el mundo, lo que tiene implicaciones significativas para la disposición de agua dulce y la adaptación de los ecosistemas y las sociedades (Milly et al., 2008).

2.2.4 Contaminación del agua

La contaminación se refiere a una modificación nociva causada por un elemento externo al entorno natural, resultando en desequilibrio, perjuicio y caos en un ecosistema, además de afectar negativamente la salud y bienestar de los organismos vivos, incluyendo los seres humanos. Esta polución puede manifestarse en distintas formas, como la atmosférica, la hídrica, la acústica, la visual y la del suelo (Chaguaro-Ramírez, 2018). La contaminación del agua es un desafío global que impacta no solo a un grupo reducido de personas, sino a nivel mundial, por lo tanto, es responsabilidad de cada individuo contribuir en la preservación de este invaluable recurso que nos beneficia a todos, siendo esencial para nuestra supervivencia y para llevar a cabo numerosas actividades cotidianas (Guadarrama-Tejas et al., 2016).

2.2.4.1. Actividad industrial y su incidencia en ecosistemas acuáticos

La contaminación del agua nivel global se debe principalmente a la actividad industrial. La liberación de residuos líquidos provenientes de diversas industrias como la curtiduría, el cuero, la petroquímica, la farmacéutica y la textil representa un riesgo peligroso para el ecosistema, lo que ha dado lugar a una serie de desafíos ambientales, de salud pública y de seguridad. Estos efluentes industriales generan una presión considerable sobre el ecosistema acuático, provocando una toxicidad significativa que se asocia con alteraciones endocrinas y una inhibición de las funciones reproductivas (Saravanakumar et al., 2022).

2.2.4.2. Actividad agrícola y su incidencia en ecosistemas acuáticos

La actividad agrícola es esencial para alimentar a la creciente población mundial, pero también tiene la capacidad de generar un impacto notable en la contaminación del agua. Conforme a un reporte emitido por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la agricultura representa un 70% de uso global de agua dulce (FAO, 2020). Sin embargo, el uso intensivo de insumos agrícolas, como pesticidas y fertilizantes, junto con prácticas de manejo inadecuadas, emana contaminantes al hábitat acuático. Sin embargo, es importante señalar que este porcentaje puede variar significativamente de un país a otro. Estas diferencias notables en el porcentaje de agua dedicada al riego agrícola están estrechamente vinculadas a diversos factores, como el clima, la disponibilidad de recursos hídricos, las prácticas agrícolas empleadas y las necesidades específicas de los cultivos cultivados en cada región (World Resources, 2005).

En países con climas más secos o donde el agua es escasa, es fundamental recurrir a un mayor riego para garantizar el crecimiento y la supervivencia de los cultivos, lo que impulsa el porcentaje de consumo de agua destinado a este fin. El extenso consumo de agua en la irrigación de cultivos agrícolas trae consigo importantes desafíos ambientales, especialmente cuando se trata de la contaminación difusa. La contaminación difusa o no localizada hace referencia a las descargas que se producen sin un conocimiento claro de su origen, el responsable de la contaminación y la cantidad que contribuye a ella. Se calcula que la contaminación en las fuentes hídricas se origina en las prácticas agrícolas y ganaderas. Para ilustrar, cerca de dos tercios del contenido de nitrógeno en el agua tienen su fuente en esta actividad; un tercio proviene de los residuos animales y otro tercio resulta de la escorrentía de productos químicos agrícolas aplicados en los cultivos (Aguilar-Ibarra & Pérez-Espejo, 2008).

2.2.4.3. Actividad doméstica y su incidencia en ecosistemas acuáticos

Las aguas residuales provenientes de hogares son descargadas a través de sistemas de alcantarillado o vertidas directamente al entorno. Estas aguas presentan una composición muy diversa y exhiben características físico-químicas y biológicas alteradas, lo que las vuelve inapropiadas para su consumo, por lo cual, requieren de un proceso de remediación especial (Osorio et al., 2021).

2.2.5 Afecciones de la mala calidad del agua en la salud

Los problemas de salud están vinculados a la falta de procedimientos adecuados para su remediación de las aguas, pues estas, contienen microorganismos patógenos y causan diversas enfermedades infecciosas. Este riesgo es especialmente preocupante para los grupos vulnerables. A causa de estas acumulaciones químicas, los seres humanos que ocupan el nivel más alto de las cadenas alimenticias pueden enfrentar consecuencias tales como cáncer, trastornos reproductivos y mortalidad (Palacios & Moreno, 2022). La alteración en la composición de los nutrientes presentes en suelos y sedimentos puede influir en la distribución de especies en ecosistemas tanto terrestres como acuáticos. Un incremento en los niveles de nitrato en las aguas subyacentes puede dar lugar a concentraciones tóxicas de nitrato en el agua potable, lo que representa riesgos para la salud (Grijalva-Endara et al., 2020).

2.2.6 Incidencia del cambio climático en la cantidad y calidad del agua

La alteración de los patrones de precipitación es otro efecto relevante del cambio climático. Un estudio realizado por Trenberth et al. (2014) encontró que, debido al calentamiento global, ciertas regiones experimentan un aumento en las precipitaciones intensas y frecuentes, lo que puede provocar inundaciones devastadoras. Por otro lado, otras áreas se ven afectadas por sequías prolongadas disminuyendo la cantidad de agua afectando a cultivos y la seguridad alimentaria.

Los recursos hídricos juegan un papel crucial en el cambio climático, ya que inciden directamente en el ciclo hidrológico, diversos factores como: las variaciones en la precipitación, temperatura, contenido de sedimentos, nutrientes y sustancias tóxicas, afectan la composición y dinámica del agua, lo que provoca modificaciones en su estructura natural y dificulta el desarrollo normal del ciclo hidrológico (Suarez-Murillo, 2020).

2.2.7 Calidad del agua

La calidad del agua se refiere a la evaluación de las características física, químicas, y biológicas, y se utiliza para evaluar su capacidad para distintos usos, como consumo, cultivos, industria, la recreación y la vida acuática. Los parámetros se analizan para medir la calidad del agua que pueden variar según el uso previsto, pero en general incluyen la concentración de contaminantes, el pH, t°, la turbidez, el olor, el sabor y la presencia de microorganismos patógenos (Ramos, 2015). La calidad del agua puede variar según la fuente, el tratamiento y la distribución, por lo que es importante seguir monitoreando y manteniendo la calidad del agua a lo largo de todo el proceso (Romero, 2002).

2.2.8 Parámetros físicos

2.2.8.1. Temperatura

Es un factor físico esencial en la caracterización y estudio del agua, dado que influye en diversos procesos biológicos, químicos y físicos en los ecosistemas acuáticos. La temperatura del agua puede variar considerablemente según la ubicación geográfica, la estación del año, la profundidad y las actividades humanas. Juega una importante distribución de los organismos acuáticos y puede medirse tanto manualmente utilizando termómetros convencionales de mercurio como mediante el uso de termómetros digitales (Caríssimo et al., 2012).

2.2.8.2. Conductividad Eléctrica (CE)

Hace referencia a su aptitud para transportar corriente eléctrica. Su unidad de medida es en siemens por metro (S/m), aunque en aras de simplificación, se utiliza $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C. La conductividad del agua guarda una relación intrínseca con la presencia de sales disueltas, cuya separación produce iones que portan la electricidad (Solís-Castro et al., 2018).

2.2.8.3. Sólidos Suspendidos

La presencia de SP (sólidos suspendidos) en el agua constituye un indicador físico fundamental para la valoración de la calidad y el estado ambiental de los cuerpos de agua. Este término se refiere a las partículas materiales que permanecen en suspensión en las corrientes de agua tanto superficiales como residuales (MEAA, 2008).

Según SIMA (2003) la cifra promedio de SP el agua se obtiene al agregar los valores individuales de SST tomados en cada punto de muestreo y luego dividir entre el número total de puntos de muestreo.

2.2.9 Parámetros químicos

2.2.9.1. Potencial de hidrógeno(pH)

En el ámbito de la química, el concepto de pH se emplea para establecer si una sustancia es ácida o básica de una solución acuosa mediante una escala numérica (Vázquez & Rojas, 2016).

2.2.9.2. Amonio (NH₄-N)

Es un compuesto de nitrógeno inorgánico que puede encontrarse en el agua. El amonio es un abono que puede fomentar el crecimiento de las algas (Eburres, 2006), y su presencia en niveles elevados puede ser tóxico para la vida acuática. En las plantas de tratamiento de aguas residuales, se monitorea y registra la fracción de N presente en forma de amonio (Eburres, 2006), conocida como nitrógeno amoniacal (NH₄-N).

El amonio en el agua puede representar un riesgo para la vida acuática, especialmente si se encuentra en niveles elevados (ATSDR, 2004). Además, el amonio puede ser tóxico para los humanos si se ingiere o se inhala en altas concentraciones. Es importante tener cuidado al manipular productos que contienen amonio, como los productos de limpieza del hogar, dado que tiene la capacidad de ocasionar lesiones graves en la piel y los ojos si no se manejan adecuadamente.

2.2.9.3. Nitratos (NO₃)

Los nitratos en el agua son un tema de preocupación ya que su presencia puede indicar contaminación (Swistock, 2023; Wohl, 2006). En la lluvia o en el agua de riego (Greenpeace, 2022; Vitoria et al., 2015), los nitratos tienen la capacidad de atravesar el suelo y alcanzar las aguas subterráneas. El agua potable puede contener nitratos si un pozo está contaminado (WSDH, 2016). La presencia de nitratos en concentraciones elevadas en el agua potable puede ser peligrosa para la salud (Swistock, 2023; Wohl, 2006).

La contaminación por nitratos en agua puede ser muy preocupante, ya que, los nitratos pueden contaminar el agua potable debido a la filtración de los residuos animales o la aplicación excesiva de fertilizantes, y puede ser especialmente problemático en las zonas agrícolas intensivas. Niveles altos de nitratos en el agua causan afecciones en la salud (Wohl, 2006), especialmente para los bebés y niños pequeños.

2.2.9.4. Sulfatos (SO₄)

Es un compuesto que se encuentra de manera común en la naturaleza y puede encontrarse en cuerpos de aguas naturales en diferentes cantidades, desde pequeñas cantidades de miligramos por litro hasta varios gramos por litro. En ocasiones, la actividad minera puede generar grandes cantidades de sulfatos debido a la oxidación de minerales como la pirita (Bojaca, 2007)

Debido a que tienen un efecto de laxante, especialmente en niños, se sugiere que el nivel máximo de sulfatos en el agua potable no supere los 250 mg/L. La cantidad de sulfatos también es relevante

debido a que el agua con concentraciones elevadas de sulfatos tiende a crear depósitos en calderas y sistemas de intercambio de calor (Bojaca, 2007).

2.2.9.5. Demanda química de oxígeno (DQO)

La DQO es un indicador químico que cuantifica la cantidad de oxígeno requerida para oxidar la MO (Materia orgánica) presente (IDEAM, 2007).

2.2.9.6. Fosfatos (PO_4)

Los fosfatos son compuestos químicos que contienen el ion-fosfato que desempeña un papel clave en el ciclo ambiental. Puede encontrarse en forma de partículas suspendidas, fragmentos dispersos o en cuerpos de organismos. Además, la lluvia puede transportar diversos niveles de fosfatos que son filtrados desde los suelos utilizados para cultivos hasta los cuerpos de agua cercanos (Bolaños-Alfaro et al., 2017).

2.2.9.7. Hierro (Fe)

Es un elemento metálico que comúnmente está presente en las aguas como resultado de la disolución de minerales y rocas que contienen hierro (Fe). Esta disolución de minerales y rocas contribuye a la presencia de hierro en el agua, lo que puede generar fluctuaciones en los niveles de este elemento. Estas variaciones en la concentración de hierro en el agua están influenciadas tanto por las actividades humanas como por las características geográficas y ambientales del entorno. Las acciones antropogénicas, como la industria y la agricultura, pueden introducir mayores cantidades de hierro en el agua, mientras que las particularidades geográficas también pueden influir en los niveles de hierro debido a la composición natural del suelo y las rocas en una región específica (Guillen et al., 2021).

2.2.10 Parámetros biológicos

Los indicadores biológicos condensan datos del entorno en el que residen, lo que hace que su contribución al análisis de la salud ambiental de los ecosistemas acuáticos sea un complemento esencial a otras mediciones, como las proporcionadas por los parámetros físico-químicos. Su aplicación como biomonitores no solo se puede ver como una herramienta para la evaluación del entorno, sino también como un medio de comunicación efectivo (Gómez et al., 2020).

2.2.10.1. Macroinvertebrados bentónicos

Los macroinvertebrados son organismos mayormente bentónicos habitan en el fondo del agua. Estos se dividen en tres categorías: 1) el neuston incluye a los seres vivos que habitan en la superficie del agua, 2) el necton comprende a todos los seres que se desplazan con restricciones en el agua, 3) el bento hace referencia a los organismos que viven en el lecho de ríos y lagos, que están anclados a elementos como piedras, madera, hojarasca y otros sustratos similares (Gualdrón, 2016).

Los organismos bentónicos macroinvertebrados son parte del ciclo de nutrientes, actúan como descomponedores de materia orgánica y son una fuente crucial de alimento para otros organismos acuáticos, como peces y aves acuáticas, además, su presencia y composición pueden proporcionar información valiosa sobre su estado. Los macroinvertebrados bentónicos son sensibles a cambios en las condiciones ambientales. En la tabla 1 se presentan las ventajas y desventajas de los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los macroinvertebrados

	Ventajas	Desventajas
Macroinvertebrados	-Variedad de morfologías y comportamientos.	-La realización de muestreos de manera cuantitativa presenta dificultades.
	- Una considerable cantidad de especies muestra comportamientos sedentarios.	-El tipo de material en el fondo y la tendencia de ciertas especies a prevalecer sobre otras influyen en la obtención de la muestra.
	-Los ciclos de vida extensos permiten una mejor comprensión de los impactos de la contaminación en lapsos de tiempo prolongados.	-Las especies pueden ser arrastradas por la corriente.
	-La recolección cualitativa es simple y sin complicaciones. Además, existen recursos confiables en forma de claves taxonómicas.	-Es esencial tener información sobre los ciclos vitales para comprender la ausencia de ciertas especies.

Fuente: (Gómez et al., 2020)

22.10.2. Grupo de trabajo para el monitoreo biológico adaptado a Colombia(BMWP/COL)

El Índice BMWP es un método usado para valorar la calidad del agua en: ríos y arroyos. Se basa en datos cualitativos (presencia o ausencia) y permite asignar puntuaciones según la tolerancia de diversas familias o grupos frente a la polución orgánica. Estas puntuaciones se sitúan en una escala de 1 a 10, donde las familias más susceptibles reciben un puntaje de 10, en contraste con las más resistentes a la contaminación, que se califican con un puntaje de uno (Sánchez & García, 2018). En la tabla 2 se presentan los valores de referencia que se tiene dentro del índice del BMWP/COL.

Tabla 2: Valores de referencia del índice BMWP/Col con su respectivo color y significado

ÍNDICE DE REFERENCIA BMWP/COL				
Clase	Calidad	BMWP/Col	Significado	Color
I	Buena	>150.101-120	Aguas muy limpias. No contaminadas	AZUL
II	Aceptable	61-100	Se evidencia algún efecto de contaminación	VERDE

III	Dudosa	36-60	Aguas contaminadas	AMARILLO
IV	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas	NARANJA
V	Muy Crítica	<15	Aguas fuertemente contaminadas	ROJO

Fuente: (Bueñaño et al., 2018)

La tabla 3 presenta los puntajes de las familias, cada familia de macroinvertebrados se enumera junto con su puntuación correspondiente. Estas calificaciones se asignan en función de la sensibilidad de cada familia a la contaminación y otros factores ambientales

Tabla 3. Puntaje de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/COL

FAMILIA	PUNTAJE
<i>Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hidridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae.</i>	10
<i>Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae.</i>	9
<i>Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.</i>	8
<i>Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohyphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.</i>	7
<i>Aeshnidae, Ancylidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.</i>	6
<i>Belostomatidae, Gelastocoridae, Hydropsychidae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae</i>	5
<i>Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolycopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydraenidae, Hydrometridae, Noteridae.</i>	4
<i>Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae</i>	3
<i>Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae</i>	2
<i>Tubificidae</i>	1

Fuente: (Roldán, 1996)

2.3 Ecotono

El ecotono es un concepto utilizado en ecología para describir una zona de transición entre dos ecosistemas contiguos. Es un área donde se encuentran y mezclan características y especies de ambos ecosistemas, generando un entorno único y diverso en términos biológicos. El término "ecotono" proviene de las palabras griegas "oikos", que significa "casa" o "hábitat", y "tonos", que se traduce como "tensión" o "límite" (León et al., 2013). Los ecotonos son áreas de gran importancia ecológica, ya que representan una interfaz dinámica entre dos comunidades diferentes. A diferencia de los ecosistemas adyacentes, que tienen características y especies bien definidas, el ecotono es una zona de transición donde las condiciones ambientales pueden ser diferentes y fluctuar en función de diversos factores como: la condición de terreno, las condiciones climáticas y la relación entre las diferentes especies (Ojeda, 2007).

Dentro de un ecotono, se pueden encontrar especies adaptadas a su ecosistema. Estas especies pueden ser únicas y exclusivas del ecotono, o bien pueden ser especies características de uno de los ecosistemas vecinos que se han adaptado para sobrevivir en el área de transición (Nebel & Wright, 1999). Además, el ecotono puede albergar especies oportunistas que aprovechan los recursos disponibles en la zona de transición. Un ejemplo común de ecotono es el borde entre un bosque y una pradera. En esta área, se puede observar una mezcla de especies arbóreas propias del bosque, como árboles de hoja perenne y sombra, y especies herbáceas características de la pradera, como pastos y flores silvestres. El ecotono entre estos dos ecosistemas proporciona condiciones únicas de luz, humedad y nutrientes, lo que permite la coexistencia de especies adaptadas a ambas comunidades (Nebel & Wright, 1999)

Dentro del ecotono se da la conectividad ecológica y la movilidad de las especies. Actúa como un corredor biológico que permite el flujo de individuos, genes y energía entre los ecosistemas vecinos (Fernández, 2014). Esto es particularmente importante para aquellas especies que dependen de recursos presentes en ambos hábitats y necesitan moverse entre ellos para alimentarse, completar su ciclo de vida. Además, los ecotonos pueden proporcionar servicios ecosistémicos valiosos. Por ejemplo, actúan como zonas de amortiguamiento, reduciendo los efectos negativos de los disturbios o impactos ambientales en los ecosistemas adyacentes. También pueden desempeñar un papel en la retención y filtración del agua, contribuyendo a la regulación del ciclo hidrológico y la prevención de inundaciones. Sin embargo, los ecotonos son ecosistemas sensibles y vulnerables (Brugos, 2004).

2.4 Zona hiporréica

La zona hiporréica es una región crucial en los ecosistemas acuáticos, especialmente en aquellos donde se encuentran ríos, arroyos y cuerpos de agua similares. Esta zona, que se extiende debajo del lecho del río o del cuerpo de agua, es un área de transición entre los sedimentos y el flujo de agua subterránea. Según Karaman (1935) el término "hiporréica" proviene del griego "hypo" que significa "debajo" y "rhēō" que se traduce como "fluir", entonces, la zona hiporréica es el área que se encuentra debajo del flujo de un río o cuerpo de agua, donde el agua superficial se infiltra en los sedimentos y se mezcla con el agua subterránea.

Esta zona es de gran importancia ecológica debido a que presenta condiciones físicas, químicas y biológicas únicas. En la zona hiporréica, el agua se desplaza más lentamente que en el flujo principal, lo que resulta en una disminución de la turbulencia y una menor velocidad del flujo. Esta reducción del flujo permite la acumulación de sedimentos y materia orgánica, estableciendo un entorno adecuado para el florecimiento de una amplia gama de organismos (Rasines, 2017b).

En términos químicos, la zona hiporréica actúa como un filtro natural. En cuanto a la biología, la zona hiporréica alberga una gran diversidad de organismos adaptados a estas condiciones únicas.

Aquí se encuentran una variedad de invertebrados acuáticos, como gusanos, larvas de insectos y crustáceos, que juegan un papel vital en la descomposición de la materia orgánica y en la cadena alimentaria acuática. Además, la zona hiporréica puede servir como un refugio para ciertas especies de peces y otros animales durante períodos de sequía o cuando se encuentran en busca de alimento. Es importante destacar que la zona hiporréica no es estática, sino que varía en su extensión y características dependiendo de la temporada, el caudal del agua y la composición del sustrato.

2.4.1 Intercambio térmico de la zona hiporréica (ZH)

El intercambio térmico de la zona hiporréica se refiere al proceso mediante el cual ocurre transferencia de calor entre el agua subterránea y el agua superficial en los ecosistemas acuáticos (Torres & Urgilez, 2013). La zona hiporréica es una región subsuperficial compuesta por sedimentos y rocas que se encuentra en contacto con el agua subterránea, ubicada bajo el lecho de ríos, arroyos y otros cuerpos de agua. Este intercambio térmico puede influir en la temperatura y las condiciones ambientales del agua en estas zonas, teniendo implicaciones para la ecología acuática y los procesos biogeoquímicos.

Actúa como un intermediario entre el agua superficial y la masa de agua subterránea, permitiendo que el calor fluya entre estas dos áreas y afecte las propiedades térmicas del sistema. Los procesos de intercambio térmico en la ZH pueden influir en la temperatura del agua, la disolución de gases, la actividad biológica y la movilidad de nutrientes y sustancias químicas. Estos intercambios son esenciales para comprender cómo los ecosistemas acuáticos interactúan y responden a cambios ambientales y climáticos (Torres & Urgilez, 2013).

2.5 Sistema de información geográfica

Los SIG son recursos tecnológicos que permiten la interpretación de datos geoespaciales. Estos sistemas combinan información geográfica, como mapas, imágenes satelitales, datos topográficos y censales, con datos no espaciales, como tablas de atributos, para crear un entorno digital donde se pueden realizar análisis y tomar decisiones basadas en la ubicación (Mendoza & Hernández, 2011). Los SIG se componen de varios componentes fundamentales, en primer lugar, existe una base de datos geográfica que almacena toda la información geoespacial relevante, esta base de datos está compuesta por capas de información, que pueden incluir características geográficas como ríos, carreteras, edificios, áreas verdes, así como atributos asociados a cada una de estas características, como el nombre, el tipo o la altura (Gamboa, 2012). Además de la base de datos geográfica, los SIG cuentan con herramientas de captura de datos, que permiten ingresar nueva información geográfica al sistema, esto puede realizarse mediante la digitalización de mapas en papel, mediante la recolección de datos con dispositivos GPS o mediante la adquisición de imágenes satelitales o fotografías aéreas (Mendoza & Hernández, 2011).

Una vez que los datos están almacenados en el SIG, se pueden realizar análisis espaciales y temáticos. Los análisis espaciales permiten examinar la relación entre diferentes elementos geográficos, como calcular la distancia entre dos puntos o determinar qué áreas están dentro de un radio determinado de una ubicación específica. Los análisis temáticos, por otro lado, implican la exploración de los atributos asociados a los elementos geográficos, como la generación de estadísticas sobre la distribución de población en una ciudad o la identificación de áreas propensas a desastres naturales (Llopis, 2010).

Estos sistemas ofrecen diferentes herramientas para representar los datos geoespaciales de manera gráfica, ya sea en forma de mapas estáticos o mediante la creación de mapas interactivos en los que se pueden realizar consultas y explorar diferentes capas de información. Los SIG encuentran aplicación en diversos sectores y áreas de estudio (Mendoza & Hernández, 2011). En el ámbito urbanístico, se utilizan para la planificación del desarrollo de ciudades y la gestión de

infraestructuras. En la agricultura, ayudan en la toma de decisiones relacionadas con la siembra, el riego y la gestión de cultivos. En el ámbito medioambiental, los SIG son fundamentales para el monitoreo de ecosistemas y la conservación de recursos naturales, también se utilizan en el análisis de riesgos, la gestión de emergencias, el transporte, el geomarketing, entre otros (Gamboa, 2012).

2.5.1 Imágenes satelitales

Las imágenes satelitales son representaciones visuales de la Tierra tomadas desde satélites artificiales en el espacio. Estas imágenes capturan la superficie terrestre desde una perspectiva aérea, brindando información valiosa sobre la topografía, los patrones climáticos, la vegetación, los cuerpos de agua y otros aspectos de nuestro planeta (Gómez Vargas et al., 2013). Las imágenes satelitales se obtienen a través de sensores montados en satélites que rodean la Tierra, estos sensores están diseñados para detectar y registrar la energía electromagnética proveniente de la superficie terrestre en distintos rangos de frecuencia, incluyendo el visible, el infrarrojo cercano y el infrarrojo térmico (Sobrino, 2001).

La principal fuente de energía es proporcionada por la radiación solar que es utilizada en la captura de imágenes satelitales. Los sensores satelitales detectan esta energía reflejada y la convierten en datos digitales que luego se procesan para formar una imagen (Ponvert-Delisle & Lau, 2023). También se utilizan en la cartografía y en la planificación urbana, proporcionando datos detallados sobre la topografía y la distribución de la tierra. Las imágenes satelitales también han sido fundamentales en el estudio del cambio climático y la vigilancia de los recursos naturales, como la deforestación y la pérdida de hábitats (Janampa & Ponce, 2022). Además, las imágenes satelitales son herramientas que ayudan a la divulgación científica, ya que permiten visualizar y comprender mejor los fenómenos terrestres a gran escala. Estas imágenes también han abierto nuevas posibilidades en el turismo y la exploración espaciales, al proporcionar vistas impresionantes y detalladas de nuestro planeta desde el espacio (Siebert et al., 2005).

En los últimos 30 años el monitoreo de los cambios en los usos del suelo se ha apoyado en imágenes satelitales. La necesidad de utilizar imágenes satelitales para analizar los cambios de uso de suelo y los cambios en las coberturas vegetales se ha hecho cada vez más grande propiciando así que exista una mayor disponibilidad de estas imágenes (Pineda, 2011).

2.5.2 Landsat

El programa LANDSAT (combinación de "LAND" que significa tierra y "SAT" que denota satélite) fue el primer sistema de satélites desarrollado específicamente para llevar a cabo misiones de teledetección y observación de la Tierra. En la actualidad, la NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio) es la encargada de su mantenimiento y operación, mientras que la producción y comercialización de las imágenes generadas recae en el USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos). Desde sus inicios en 1962 como ERTS (Earth Resources Technology Satellites), el programa ha estado enfocado en investigar los recursos naturales terrestres, siendo lanzado oficialmente en 1972 como ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite 1), posteriormente renombrado como Landsat 1. Este satélite contaba con dos tipos de sensores de imágenes terrestres: un Beam Vidicon (RBV) y un MSS (Multispectral Scanner) con una resolución de 80 metros.

2.5.3 Landsat-7

El satélite Landsat 7, perteneciente al gobierno de Estados Unidos, utiliza un cohete Delta-II de un solo uso en el Western Test Range. El instrumento de observación terrestre a bordo de Landsat 7, conocido como Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), presenta capacidades similares a los exitosos instrumentos Thematic Mapper utilizados en los satélites Landsat 4 y 5.

Sobresale como el satélite terrestre de observación con una gran exactitud. Sus registros son extremadamente exactos al ser comparados con mediciones realizadas en tierra. La calidad excepcional de los datos y el sistema de archivo global coherente, junto con los precios reducidos de acceso a los datos de Landsat 7, han generado un notable incremento en la calidad de personas que utilizan esta información. En octubre de 2008, la USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos) hizo accesible al público todos los datos recopilados por Landsat 7, permitiendo un mayor acceso y uso de esta valiosa información (NASA, 2018).

2.6 Correlación

Se emplea como una medida para evaluar la relación entre dos variables de cantidad continuas (x, y). Una forma simple de determinar si existe una correlación entre dos variables es observar si varían juntas o co-varían (Vinueza, 2016).

2.6.1 Análisis de correspondencia canónica (CCA)

El CCA se constituye como un método técnico estadístico lineal que se emplea para investigar las relaciones entre múltiples variables. Esta herramienta ha ganado amplia aplicación en diversos campos (Badii et al., 2007). Su enfoque se centra en examinar las relaciones multidimensionales que puedan existir entre varias variables independientes y múltiples variables dependientes. Al utilizar esta metodología, los investigadores pueden identificar patrones complejos y conexiones entre los conjuntos de datos analizados.

Dada su versatilidad y potencia analítica, el análisis de correlación canónica se ha transformado en una herramienta invaluable para el avance del conocimiento y la toma de decisiones. Su capacidad para desentrañar relaciones multidimensionales lo convierte en un recurso valioso para aquellos que buscan obtener una visión holística de las complejidades presentes en sus datos (Badii et al., 2007).

2.7 Marco legal

En el anexo 3 se detallan todas las leyes y regulaciones en vigor en Ecuador, con un enfoque especial en la calidad del agua y uso de suelo.

2.7.1 Constitución de la República del Ecuador

La Constitución de la república del Ecuador (2008) es pionera en otorgar derechos a la naturaleza, incluyendo a los ríos, reconociendo la importancia vital de preservar y proteger el entorno natural para el bienestar de las generaciones. Estos derechos están consagrados en el Capítulo del Buen Vivir de la Constitución y son una parte fundamental de la visión de desarrollo sostenible del país.

En cuanto a los ríos y otros recursos acuíferos, la Constitución de Ecuador garantiza varios derechos importantes:

1. **Derecho a la conservación:** Se establece para recuperar los ecosistemas acuáticos su biodiversidad. Esto implica que los ríos deben ser protegidos de actividades que puedan dañar su salud y diversidad biológica.
2. **Derecho a la regeneración:** La Constitución reconoce el derecho de los ecosistemas acuáticos a su regeneración natural, lo que significa que se deben tomar medidas para permitir que los ríos se recuperen de daños ambientales.

3. **Derecho a la restauración:** Si ocurren impactos ambientales, se establece la obligación de restaurarlos a su estado original. Esto implica la responsabilidad de quienes causen daños ambientales de tomar medidas para remediarlos.
4. **Derecho a un caudal ecológico:** Los ríos tienen el derecho a fluir de manera continua y sostenible, garantizando así la conservación de sus ecosistemas y la vida que depende de ellos.

Estos derechos son fundamentales para garantizar la preservación de los ríos y de la naturaleza en general en Ecuador, fomentar una relación más justa y duradera entre las personas y el entorno natural. La Constitución de Ecuador se erige como un ejemplo a nivel mundial.

2.7.2 Código orgánico del ambiente (COA)

El COA (2017), es una pieza legislativa fundamental que establece las bases de protección y gestión sostenible de recursos naturales, incluyendo a los ríos y el suelo. Este código refleja el compromiso del país con la preservación de su biodiversidad y su entorno natural.

En el COA, se otorgan derechos específicos a la naturaleza, reconociendo su importancia intrínseca y su papel fundamental en el bienestar humano. A continuación, se destacan algunos aspectos clave:

1. **Protección de los ríos:** El COA establece medidas destinadas a la conservación de los ríos y su biodiversidad. Esto incluye la prohibición de actividades que puedan degradar los ecosistemas acuáticos y la promoción de prácticas sostenibles en la gestión de recursos hídricos.
2. **Caudal Ecológico:** El código reconoce la importancia del caudal ecológico que es necesaria para mantener los ecosistemas acuáticos y sus funciones. Se establece la responsabilidad de asegurar un caudal mínimo de agua en los ríos para proteger la vida acuática y los ecosistemas asociados.
3. **Restauración y Remediación:** El COA estipula la responsabilidad de quienes causen daños al suelo y los ríos de tomar medidas para su restauración y remediación. Esto significa que aquellos que contaminen o degraden estos recursos naturales deben realizar acciones para revertir el daño causado.
4. **Uso sostenible del Suelo:** El código promueve el uso sostenible del suelo, fomentando prácticas agrícolas y de desarrollo que eviten la erosión y la degradación del suelo. Además, se establecen regulaciones para prevenir la contaminación del suelo.

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

La cuenca del río Machángara, se trata de una de las subcuencas del río Paute, con la mayor parte ubicada en la provincia de Azuay, específicamente en el cantón Cuenca, y una pequeña porción en la provincia de Cañar. La cuenca del Machángara tiene una forma que se asemeja a un triángulo con un área de 324,9 km². Este triángulo se define por un polígono cuyas coordenadas extremas son las siguientes: en el extremo sureste, son E727500, N9681000; en el extremo norte, E716300, N9712300; y en el extremo oeste, E706500, N9698100 (Ochoa & Riera, 2011). El río Machángara configura un valle significativo de procedencia glaciar y fluye en dirección de norte a sur, teniendo su origen en el Parque Nacional Cajas y finalmente desemboca en el río Cuenca. Este río es importante, ya que, ayuda a la generación de energía y en la promoción de la productividad en la región (Campaña et al., 2017). En la ilustración 1 se puede visualizar la ubicación de la cuenca del Machángara.

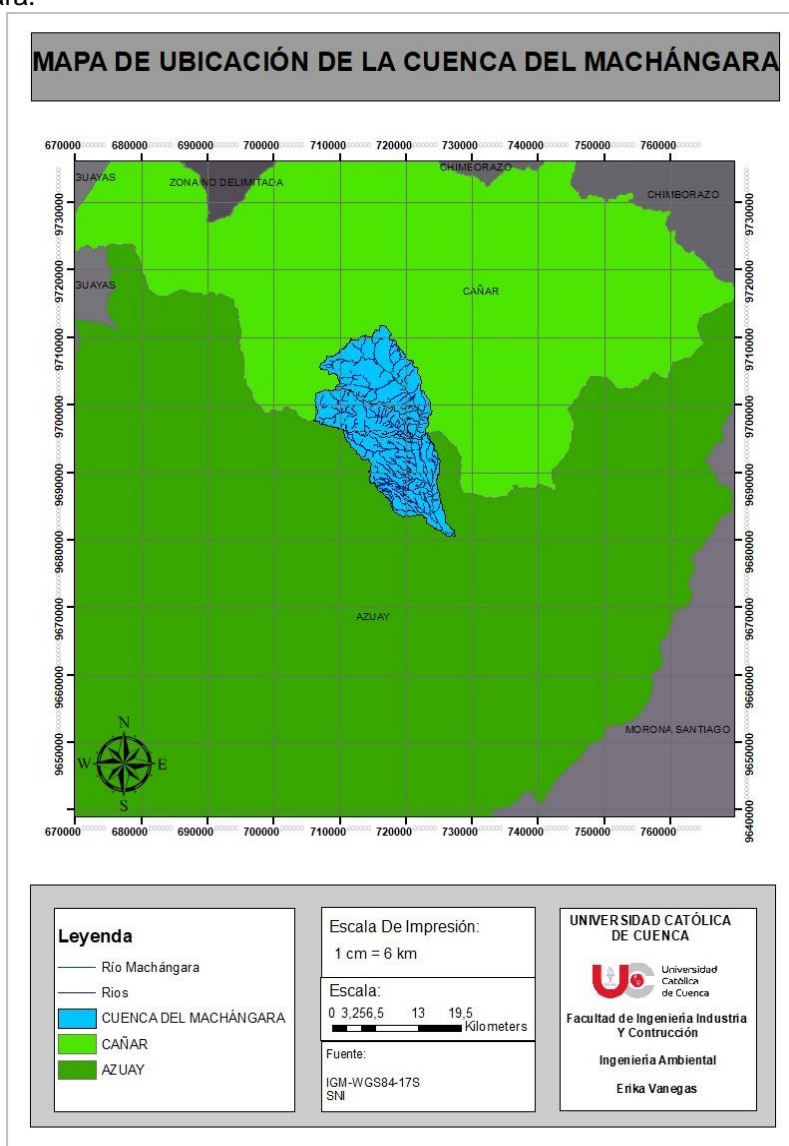


Figura 1. Mapa de ubicación de la cuenca del Machángara

3.2 Puntos de muestreo

Para poder determinar los puntos de monitoreo se siguió la metodología de Barreto (2010) donde los pasos son los siguientes:

- **Identificación:** El lugar de muestreo debe ser fácilmente identificable y reconocible para permitir una localización precisa. Se recomienda mostrar los puntos en mapas o cartas y proporcionar sus coordenadas UTM (Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator) a través del Sistema de Posicionamiento Global (GPS).
- **Accesibilidad:** El punto debe tener propiedades que faciliten un acceso seguro y ágil para la toma de muestras, sin presentar riesgos.
- **Representatividad:** Debe seleccionarse una sección del río que sea uniforme, fácil de acceder y regular en su forma.

En la ilustración 2 se pueden visualizar la ubicación de los cinco puntos de monitoreo a lo largo de la cuenca del Machángara.

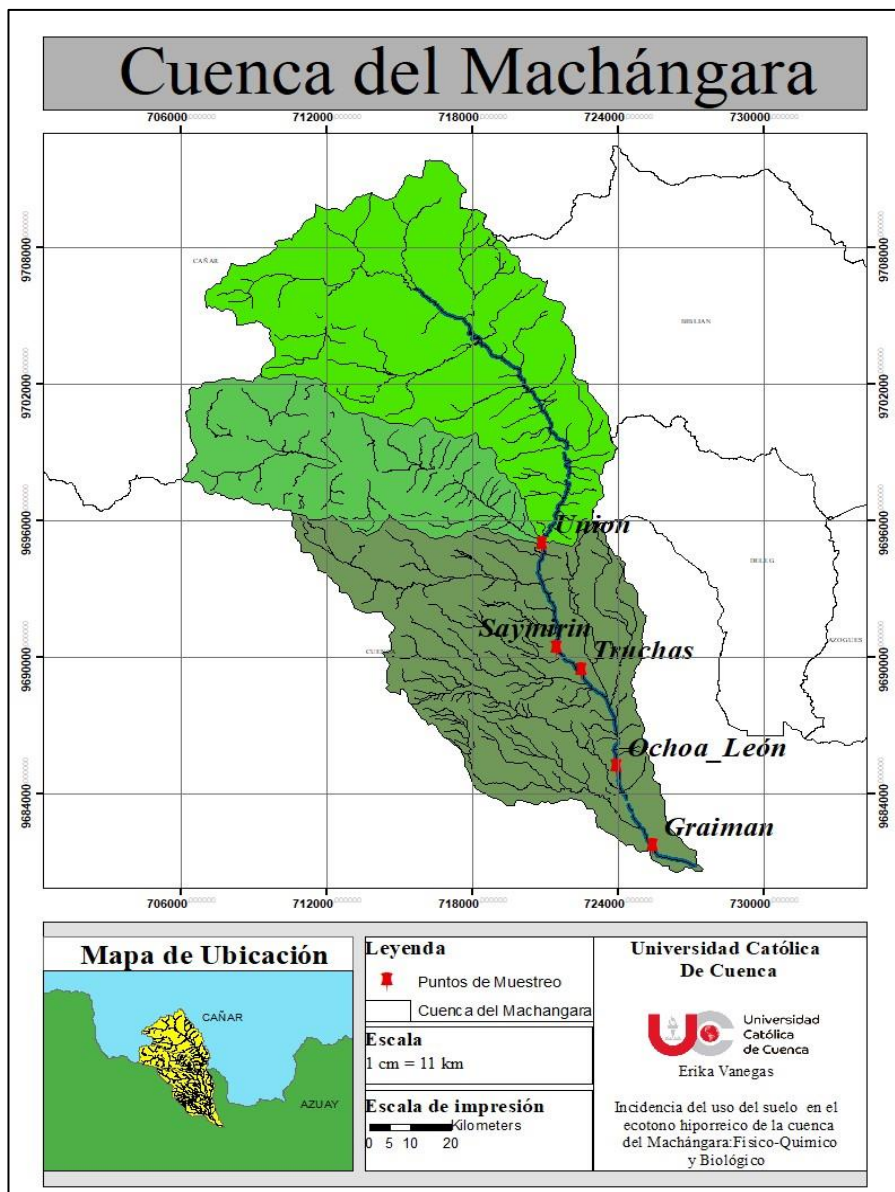


Figura 2. Mapa de los puntos de muestreo en la cuenca del Machángara.

En la tabla 4 se presentan los puntos de monitoreo a lo largo de la cuenca del Machángara. Estos puntos son lugares específicos donde se realizó el monitoreo y análisis de diferentes variables relacionadas con la calidad del agua y otros aspectos ambientales.

Tabla 4. Coordenadas de los puntos de monitoreo del estudio.

PUNTOS DE MUESTREO		
Puntos	x	Y
La Unión	720892,03	9694900,36
Saymirín	721500,87	9690357,81
Las Truchas	722481,78	9689365,58
Ochoa León	723932,87	9685129,12
Graiman	725443,85	9681625,63

3.3 Trabajo de campo

3.3.1 Toma de muestras del agua

De acuerdo con lo dispuesto por las regulaciones conforme a la norma INEN 2169 (2013):

- Se realizó la recolección de muestras en el centro del río, ya que allí se registra una mayor uniformidad en la mezcla del agua.
- Los envases fueron limpiados y enjuagados con la misma agua que se iba a muestrear.
- Para tomar las muestras, se seleccionó una profundidad intermedia y se procedió en contra de la corriente.
- Se empleó indumentaria adecuada como: botas impermeables y overol anti fluidos.
- Los recipientes se sellaron bajo el agua con el propósito de impedir la presencia de oxígeno que podrían causar variaciones.

3.3.2 Conservación y etiquetado de la muestra

Se utilizaron botellas ámbar con una abertura estrecha, con el propósito de prevenir la entrada de aire y la formación de burbujas, y también para evitar la exposición a la luz, tal como establece la normativa INEN 2169 (2013). Del mismo modo, se procedió con el etiquetado de cada muestra tomada en los diferentes puntos, a fin de evitar errores o confusiones entre ellas. Posteriormente, se procedió a almacenarlas en un recipiente térmico, el cual mantuvo la temperatura interior por debajo de los 5 °C, garantizando así la preservación de su calidad para su correspondiente análisis en el laboratorio.

3.3.3 Parámetros físico-químicos in-situ

De acuerdo con Acosta et al (2014), es esencial complementar la evaluación biológica y la observación de hábitats fluviales y vegetación ribereña con un análisis fisicoquímico del agua en la misma sección del río que ha sido muestreada. Esta medida busca identificar y comprender las relaciones entre los factores de estrés físico-químicos y los indicadores biológicos, lo que mejora la confiabilidad de los resultados obtenidos. Al combinar estos enfoques, se obtiene una visión más completa y precisa de la calidad del agua y su impacto en el ecosistema acuático.

Para llevar a cabo el estudio físico-químico in-situ, se utilizó el equipo multiparamétrico HANNA modelo-HI-991300, proporcionado por la Universidad Católica de Cuenca. Este instrumento se colocó en los cinco puntos predefinidos para el monitoreo. Los parámetros in-situ estudiados incluyeron la conductividad eléctrica, la temperatura, el pH y la concentración de sólidos disueltos.

Estos parámetros brindan información importante sobre las propiedades químicas y físicas del agua en la ubicación específica del monitoreo, lo que contribuye a una comprensión más completa y precisa de la calidad del entorno acuático estudiado.

3.3.4 Metodología para la colecta de macroinvertebrados bentónicos

Se basó en el enfoque presentado por González et al (2019) en la "Guía rápida para la identificación de macroinvertebrados de los ríos altoandinos del cantón Cuenca". Esta metodología comienza con la identificación de microhábitats potenciales, los cuales están compuestos por sustratos específicos.

En el proceso de recolección de macroinvertebrados, se estableció un transecto de 10m y se recopilaron tres muestras en cada ubicación de monitoreo utilizando una red tipo Surber. Cada estación de monitoreo cubrió un área de 1 m². La recolección se basó en la técnica de la "patada", donde la malla surber se colocó en dirección contraria a la corriente. Luego de realizar tres repeticiones en cada punto de monitoreo, las muestras fueron depositadas en una bandeja y los sustratos fueron separados utilizando un cernidor, con el objetivo de retener los macroinvertebrados y los sedimentos finos en el fondo de la bandeja. Este proceso se realizó en un lapso de 15 minutos y después fueron depositadas en fundas ziploc y llevadas en una heladera para su posterior análisis en el laboratorio.

3.3.5 Temperatura de la Zona Hiporréica

En cada punto se procedió a la instalación de sensores de temperatura, cuya finalidad radicaba en registrar de manera continua y precisa las variaciones térmicas presentes en la zona hiporréica. Para llevar a cabo esta tarea, se dispusieron los sensores en una barra rígida que se posicionó en diferentes profundidades: 5, 10 y 15 centímetros bajo la superficie del lecho acuático.

Los registros de temperatura se llevaron a cabo en intervalos de 10 minutos, permitiendo así una captura detallada y frecuente de los datos. Estos valores térmicos fueron almacenados de manera electrónica en un data logger. Posteriormente, durante los diversos meses de muestreo, se procedió a la descarga de los datos almacenados. La incorporación de estos sensores permitió una comprensión más precisa de las variaciones térmicas en la zona hiporréica, lo cual es crucial para entender las dinámicas de intercambio de calor en este entorno acuático particular.

3.4 Análisis de laboratorio

3.4.1 Análisis físico-químico *ex-situ*

En el proceso de análisis físico-químico del agua, se llevó a cabo la implementación de los procedimientos específicos detallados en el "Manual de Métodos de Hach" como menciona HACH (2000), abordando de manera precisa los parámetros físico-químicos. La Tabla 5 proporciona una visión general de los métodos que se aplicaron con el fin de realizar el análisis de las muestras obtenidas.

Dentro del laboratorio, se siguieron las directrices y enfoques delineados en el manual mencionado para cada uno de los parámetros físico-químicos en consideración. Estos métodos no solo garantizan la precisión y confiabilidad de los resultados, sino que también representan una norma establecida en la industria para el análisis de calidad del agua. Al utilizar estas metodologías respaldadas por Hach, se aseguró que el proceso de análisis se basara en procedimientos reconocidos y validados, lo que en última instancia contribuye a la credibilidad y utilidad de los resultados obtenidos.

Tabla 5. Métodos aplicados para el análisis del laboratorio

Parámetros	Método	Documento	Reactivo-Fórmula
Amonio	Método de salicilato 0,4 a 50,0 mg/L NH ₃ -N (HR)	DOC316.53.01079	Tubo de prueba Viales
Nitratos	Método de reducción de cadmio Método 8039 0,3 a 30,0 mg/L NO ₃ -N (HR)	DOC316.53.01066	Sobres de reactivo en polvo o AccuVac ampollas
Sulfatos	USEPA Método Sulfa Ver 42 2 a 70 mg/L SO ₂ -	DOC316.53.01135	Sobres de polvo
DQO	Método de digestión del reactor- 0,7 a 40,03mg/L DQO (ULR); 3 a 150 mg/L DQO (LR); 20 a 1500 mg/L DQO (HR); 200 a 15,000 mg/L DQO (HR Plus)	DOC316.53.01099	---
Fosfatos	USEPA-PhosVer-(Ácido ascórbico) Método3-0,02 a 2,50 mg/l VO ₃	DOC316.53.01119	Sobres de reactivo en polvo o AccuVac ampollas
Hierro	USEPA-Ferro Ver Método-0.02 a 3.00 mg/L Fe	DOC316.53.01053	Sobres de reactivo en polvo o AccuVac ampollas
Sólidos Suspendidos	Método gravimétrico	----	$\frac{mgSS}{L} = \frac{(A - B) * 100}{vm(L)}$

Fuente: (HACH, 2000)

3.4.2 Clasificación de macroinvertebrados

Con el fin de realizar una clasificación de los macroinvertebrados, se llevó a cabo un procedimiento detallado que involucró varios pasos esenciales. Inicialmente, se vaciaron las muestras de macroinvertebrados contenidas en vasos de precipitación de mayor tamaño. Este trasvase permitió una manipulación más eficiente y adecuada de las muestras para su posterior análisis.

Seguidamente, se procedió a someter las muestras al proceso de agitación usando un shaker ajustado a una velocidad constante de 200 rpm. Se utilizó esta metodología para mantener a los macroinvertebrados en condiciones vivas durante un período de 16 horas después de su recolección. El objetivo era permitir que los macroinvertebrados limpiaran sus sistemas digestivos para futuros estudios que involucran el uso de isótopos estables.

El paso siguiente en este protocolo de clasificación implicó el uso de un estereoscopio, un instrumento óptico de gran utilidad para la clasificación de los macroinvertebrados. A través de este equipo, se pudo observar los detalles anatómicos de los macroinvertebrados bentónicos hallados en las muestras. En particular, se buscaba identificar a qué familias taxonómicas pertenecían los diferentes macroinvertebrados.

Para llevar a cabo esta identificación taxonómica, se utilizó la guía de González et al (2019). Esta guía, contiene descripciones y características distintivas de diversas familias de macroinvertebrados, la cual proporcionó el contexto necesario para atribuir con precisión cada espécimen a su categoría taxonómica correspondiente.

Después se procedió a preservarlos para futuros estudios y referencias. Los especímenes identificados fueron colocados cuidadosamente en frascos, y se utilizó alcohol al 70%, para garantizar su conservación a lo largo del tiempo y evitar su deterioro.

Finalmente, como último paso, se etiquetaron en frascos que contenían los macroinvertebrados. Estas etiquetas son necesarias para proporcionar información contextual relevante sobre la ubicación de recolección, la fecha del muestreo y otros detalles pertinentes.

3.4.3 Cambio del uso del suelo

Para el procesamiento de imágenes satelitales, se inició obteniendo las imágenes USGS Earth Explorer. Se seleccionaron imágenes de la misma fecha para garantizar una comparación más precisa. Posteriormente, se aplicó el proceso de corrección atmosférica mediante la utilización del módulo Atmospheric Correction Tool (ACTCOR).

En la Ilustración 3 se presentan las imágenes satelitales Landsat 7 del año 2018 y del año 2023, las cuales fueron utilizadas en el estudio. Estas imágenes proporcionaron una representación visual de los cambios en el uso del suelo a lo largo del tiempo en el área de estudio. Al comparar las imágenes de diferentes años, se pudo identificar y analizar los cambios en el paisaje y el impacto que estos cambios pueden tener en la calidad del agua y el ecosistema acuático.

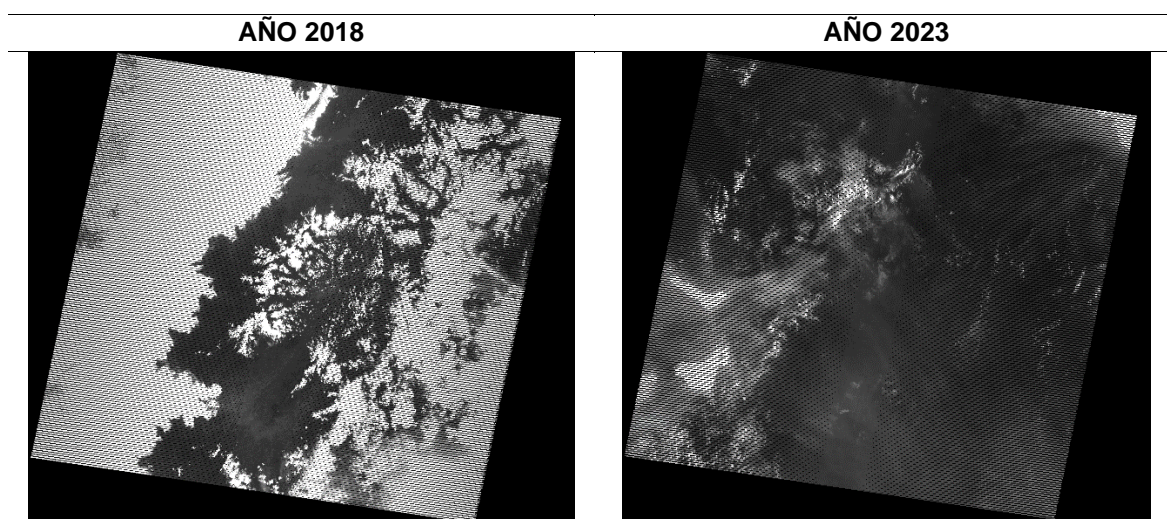


Figura 3 Imagen satelital del año 2018

Figura 4 Imagen satelital del año 2023

Fuente: Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS)

En la tabla 6 se presentan las características de las imágenes satelitales utilizadas en el estudio, como las fechas y la resolución. La imagen satelital del año 2018 se tomó en el 12/01/2018 y tiene una resolución de 30 metros. Por otro lado, la imagen satelital del año 2023 se tomó el 12/01/2023 y tiene una resolución de 30 metros. Estos detalles son importantes para comprender la temporalidad y la calidad de las imágenes utilizadas en el análisis del cambio en el uso del suelo a lo largo del tiempo.

Tabla 6. Características de las imágenes satelitales utilizadas en el estudio

IMÁGENES SATELITALES LANSDSAT			
Cuenca del	FECHA	SENSOR	RESOLUCIÓN
Machángara	12-01-2018	ETM7	30 metros
	12-01-2023	ETM7	30 metros

Una vez completada la corrección atmosférica, se procedió a realizar la georreferenciación de las imágenes. Este proceso tuvo como objetivo alinear las imágenes con el sistema de coordenadas geográficas UTM correspondiente a la zona 17S, con las imágenes georreferenciadas, se

aprovecharon las bandas espectrales disponibles en las imágenes Landsat para crear una composición de colores RGB.

La siguiente etapa consistió en una clasificación supervisada, con el propósito de asignar categorías de uso del suelo a diversas áreas dentro de la imagen. Para garantizar una clasificación precisa, se tomó como referencia la clasificación del MAATE. Una vez completada la clasificación, se procedió a la generación de mapas temáticos y composiciones visuales, con el fin de comunicar eficazmente los resultados obtenidos.

Con el objetivo de analizar los cambios en el uso del suelo entre los años 2018 y 2023, se realizó un cálculo de las áreas correspondientes a diferentes categorías. Estas categorías incluyeron población, áreas sin cobertura vegetal, bosque nativo, infraestructura, bosque natural, páramo, plantaciones forestales, tierras agropecuarias y vegetación arbustiva y herbácea. Este análisis permitió identificar y cuantificar las transformaciones en el uso del suelo a lo largo del periodo estudiado.

3.5 Análisis de datos

3.5.1 Índice BMWP/COL

Una vez que se han reconocido las distintas familias a las que pertenecen los macroinvertebrados bentónicos, se les asigna un valor que corresponde al índice de sensibilidad de BMWP/COL. Este valor específico se encuentra detallado en el anexo 4, donde se describen los diferentes niveles de sensibilidad asignados a cada familia identificada. El índice de sensibilidad de BMWP/COL, que es utilizado como una herramienta de evaluación, proporciona una medida cuantitativa para evaluar salud del ecosistema acuático y la sensibilidad de estos macroinvertebrados en el ecotono (González et al., 2019).

3.5.2 Correlación de datos

Con el propósito de adquirir un entendimiento más profundo sobre las interconexiones entre las diversas variables bajo estudio, tales como los factores físico-químicos medidos tanto en el entorno *in-situ* como *ex-situ*, los índices biológicos identificados y la tipología de uso del suelo circundante, se llevó a cabo un minucioso análisis de correlación. A través de esta metodología, se buscó descifrar las implicaciones que el uso del suelo tiene sobre el ecotono hiporréico, permitiendo una comprensión de cómo los parámetros físico-químicos interactúan con los índices biológicos detectados en este entorno acuático. Este análisis de correlación se presentó como un enfoque integral para desentrañar las complejas relaciones subyacentes y proporcionar un panorama más completo y enriquecedor de la dinámica entre los diversos componentes involucrados en este ecosistema.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados de los parámetros físico-químico: in-situ

4.1.1 Conductividad

El análisis de los datos refleja en la figura 5, donde se presenta de manera detallada la conductividad eléctrica registrada en los cinco puntos de monitoreo a lo largo del período de estudio. Es importante destacar que en los puntos evaluados ninguno sobrepasa los límites planteados por el TULSMA (2015).

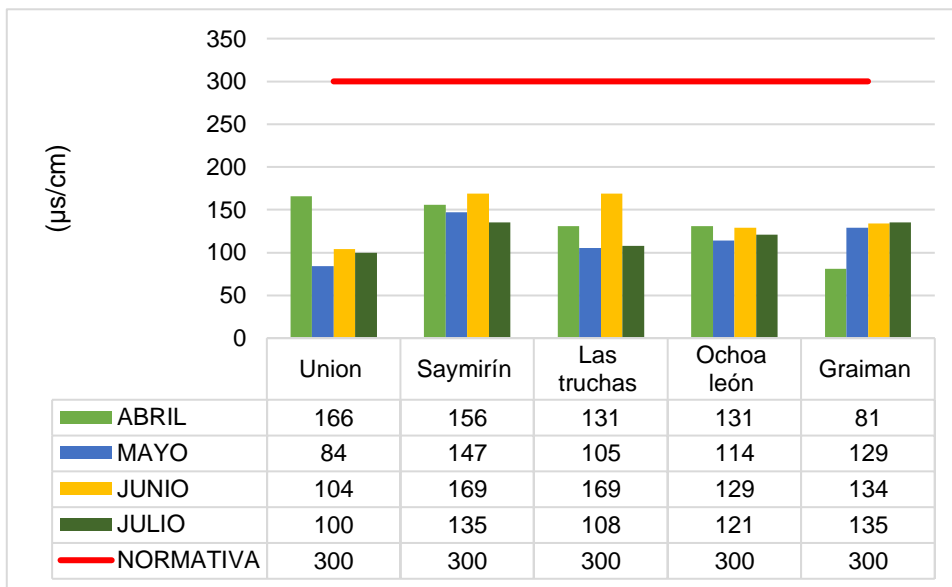


Figura 5. Monitoreo de la conductividad

Dentro del contexto del análisis, se observa una variación significativa en los niveles de conductividad eléctrica durante el transcurso de los meses. En particular, el mes de junio, caracterizado por ser una época de seca, presenta los niveles más elevados de conductividad en los puntos de monitoreo. Específicamente, los puntos de Saymirín y Las Truchas exhiben valores notables de 169 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en este mes, Según Escandón & Cáceres (2022) este valor se relaciona a una menor dilución de los componentes disueltos en el agua, debido a las condiciones climáticas y los patrones de precipitación en este período.

Por otro lado, se identifica un valor mínimo de conductividad eléctrica en el punto de Graiman durante el mes de abril que es una época lluviosa, con un registro de 81 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Además, los cambios observados en los niveles de conductividad a lo largo de los meses resaltan la influencia de factores climáticos y estacionales.

4.1.2 pH

La representación gráfica proporcionada en la figura 6 destaca los resultados de pH. Es importante resaltar que todos los puntos evaluados cumplen con la normativa, que establece un nivel máximo de pH de 9. Un aspecto de particular relevancia es la variabilidad observada en los valores de pH a lo largo del tiempo y en los diferentes puntos de muestreo. En concreto, el punto de Graiman se destaca como el de mayor valor de pH en todos los puntos de monitoreo, registrando un marcado 7,93 en el mes de mayo. Este valor puede atribuirse a diversas influencias, como la

presencia de minerales alcalinos en el agua circundante o actividades humanas que afectan la composición química del agua en este punto específico.

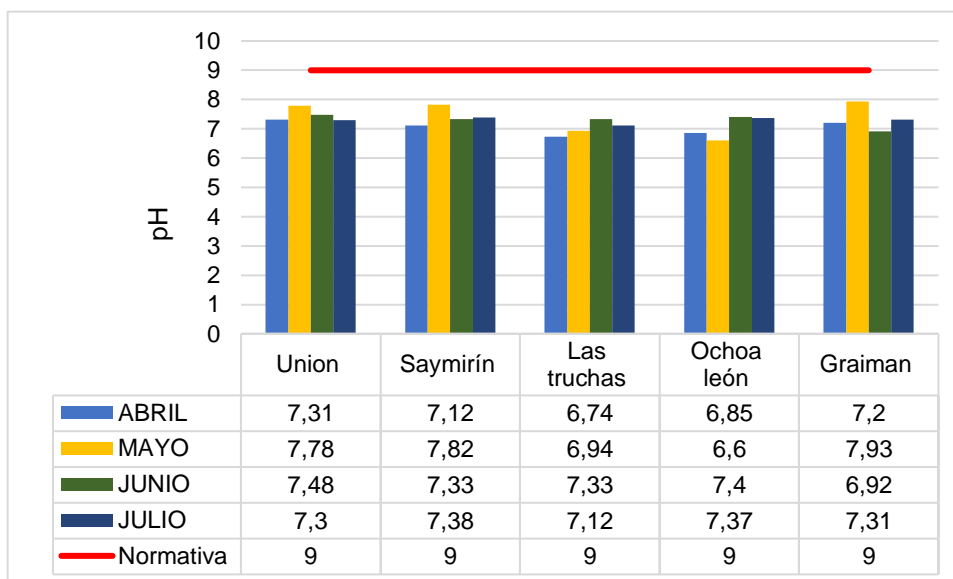


Figura 6. Monitoreo del potencial de hidrógeno (pH)

Por otro lado, se identifica un valor mínimo de pH en el punto de Ochoa León durante el mismo mes de mayo, alcanzando un valor de 6,6. Este valor relativamente más bajo puede estar vinculado a factores naturales como la descomposición orgánica en el agua o la interacción con materiales de origen vegetal.

La observación de estas fluctuaciones en los niveles de pH a lo largo del tiempo y en diferentes lugares resalta la dinámica compleja de los sistemas acuáticos y su respuesta a diversas influencias. Estas variaciones pueden influir en la biodiversidad y el nivel de vida de los organismos para mantenerse en su entorno acuático. Por lo tanto, el monitoreo continuo de estos parámetros es crucial para evaluar la salud del ecosistema acuático y tomar medidas adecuadas de conservación y restauración.

4.1.3 Sólidos disueltos

La figura 7 despliega los resultados derivados del análisis de sólidos disueltos en los puntos de estudio designados. Es pertinente destacar que ninguno de estos puntos rebasa los límites prescritos por la normativa, que estipula un umbral de 300 ppm en el TULSMA (2015) para el agua de río. La visualización de los datos resalta una variabilidad en los niveles de sólidos disueltos a lo largo del tiempo y en los otros puntos de monitoreo. Se observa que durante el mes de mayo en Graitman tiene un valor alto de 194 ppm y el mes de abril presenta valores en dos de los puntos, específicamente en la ubicación de Unión con 182 ppm y en el punto de Graitman con un valor de 161 ppm. Esta variabilidad en los resultados puede ser afectada por una variedad de factores, cómo la composición geológica del suelo circundante y las actividades humanas en la zona.

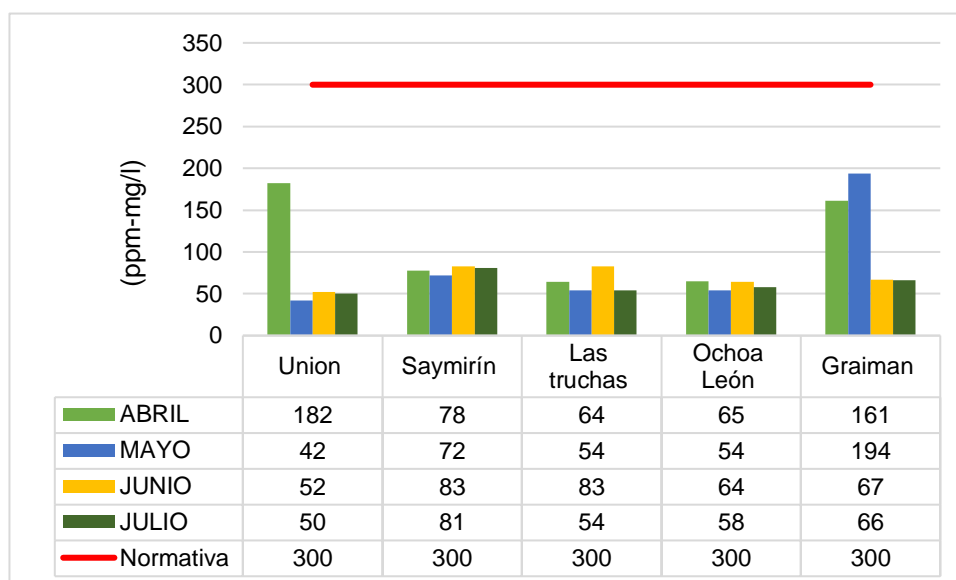


Figura 7. Monitoreo de los sólidos disueltos

Una tendencia clara se destaca al observar los valores más elevados de SD durante abril y mayo, coincidentemente, los meses de lluvia. Esta relación puede ser atribuida a mayor caudal de agua durante estos meses, lo que podría llevar a una concentración más alta de sólidos disueltos en el agua por escorrentía. Por contraste, los meses de junio y julio, marcados por bajas precipitaciones, exhiben los valores más bajos de sólidos disueltos. La mayor disponibilidad de agua en los puntos hace que exista mayor concentración de sólidos disueltos, resultando en registros más altos (Yáñez, 2018).

Este análisis resalta la complejidad de los sistemas acuáticos y cómo diferentes factores estacionales que influyen en la calidad del agua. El monitoreo constante de los niveles de sólidos disueltos es esencial para comprender estas fluctuaciones y tomar medidas convenientes de mantenimiento y administración de los recursos hídricos (Menéndez, 2010).

4.1.4 Temperatura

En la figura 8, se han identificado patrones claros en relación con las temperaturas registradas en los diferentes puntos de monitoreo. La amplitud térmica, que abarca desde 11°C hasta 16,2°C, es evidente y revela una variabilidad significativa en las condiciones térmicas en la zona de estudio.

Una observación interesante es que la temperatura está influenciada por la ubicación geográfica de cada punto de monitoreo. Se puede apreciar una tendencia ascendente en la temperatura a medida que se desciende en altitud (Flachier, 2016). Esto se evidencia en los valores más bajos de temperatura registrados en el punto "La Unión", el cual se encuentra ubicado en una zona de cuenca alta. Por otro lado, los valores altos de temperatura son observados en el punto "Graiman", situado en una posición de cuenca baja.

La conexión entre la elevación y temperatura es coherente con los patrones climáticos esperados. Las áreas de cuenca alta generalmente experimentan temperaturas más bajas debido a la influencia de la altitud y la exposición a vientos fríos. Por el contrario, las zonas de cuenca baja tienden a tener temperaturas más altas debido a la menor altitud y a la mayor exposición a la radiación solar (Vásconez et al., 2019).

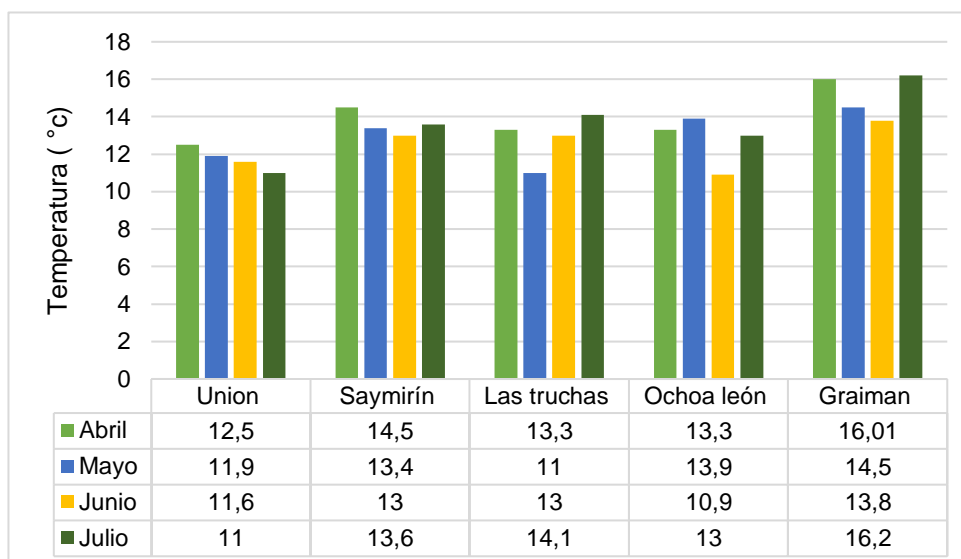


Figura 8. Monitoreo de la temperatura

4.2 Resultados del análisis físico- químicos: exsitu

4.2.1 Nitratos

Con base en el análisis detallado de los niveles de nitratos presentados en la figura 9, se observa que ninguno de los puntos estudiados sobrepasa los límites normativos establecidos por el TULSMA (2015), que fija un umbral máximo de 13 ppm para la concentración.

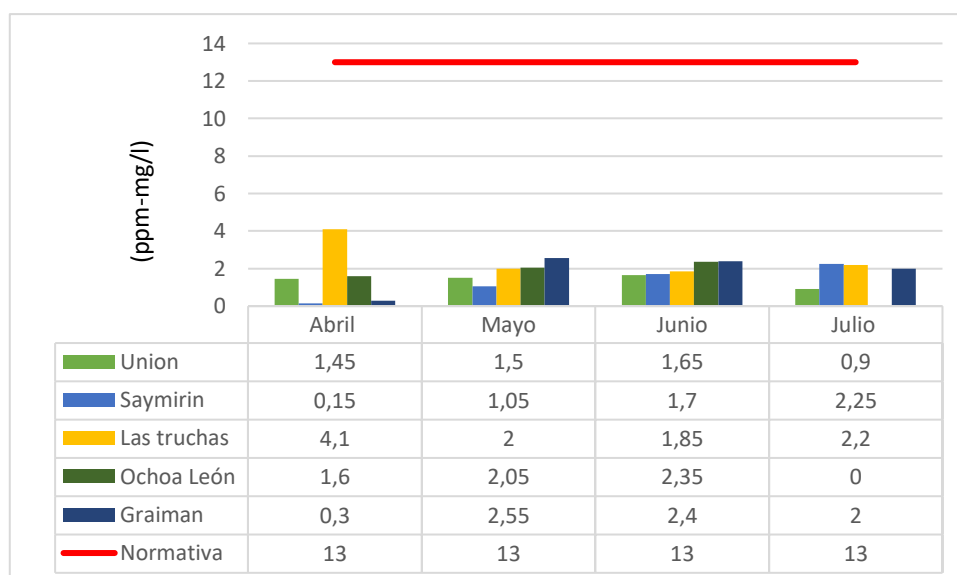


Figura 9. Monitoreo de nitratos

Una observación intrigante es la variabilidad de los niveles de nitratos a lo largo del tiempo y en los distintos puntos. En particular, el punto de Las Truchas destaca por registrar un valor de 4,1 ppm en el mes de abril. Este aumento puede ser atribuido a varios factores como la escorrentía de los contaminantes debido a altas precipitaciones de actividades agrícolas o desechos urbanos. En la publicación de Villamarín et al. (2014) se señalan valores bajos de nitratos en los ríos altoandinos, los cuales oscilan entre 0 y 0,23 mg/l en la época de sequía.

4.2.2 Amonio

La figura 10 provee un análisis detallado del monitoreo realizado en los cinco puntos, Un aspecto de gran relevancia es que, de acuerdo con los datos presentados, ninguno de los puntos de monitoreo supera los límites determinados por la normativa, la cual establece un máximo de 2 mg/L (miligramos por litro) para la concentración de amonio en el agua (Quilumbaqui, 2017).

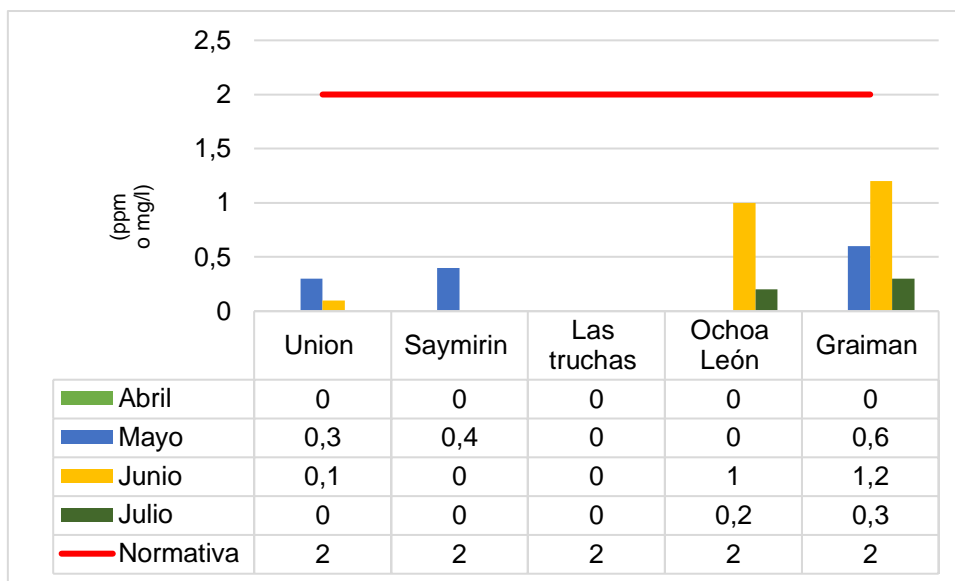


Figura 10. Monitoreo de amonio

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, se identifican patrones notables en los valores de amonio registrados en el punto "Graitman". Este punto destaca por presentar valores más elevados durante los meses de mayo, junio y julio. Esta variabilidad puede atribuirse a la ubicación industrial de este punto específico. Las actividades industriales, como la descarga de aguas residuales y los procesos productivos, que contribuyen a la presencia de amonio dentro del agua. La existencia de sustancias químicas y compuestos relacionados con la industria son responsables de la elevación de los niveles de amonio (Meneses-Campo et al., 2019).

4.2.3 Sulfatos

El análisis exhaustivo de los niveles de sulfatos, presentado en el gráfico 11, arroja una perspectiva detallada sobre la composición química de los cuerpos de agua en todos los puntos. La comparación de estos valores con la normativa establecida por el TULSMA (2015), que define un umbral máximo de 250 ppm para la concentración de sulfatos en el agua. En un primer vistazo a la figura, se destaca con satisfacción que ninguno de los puntos de monitoreo excede los límites normativos.

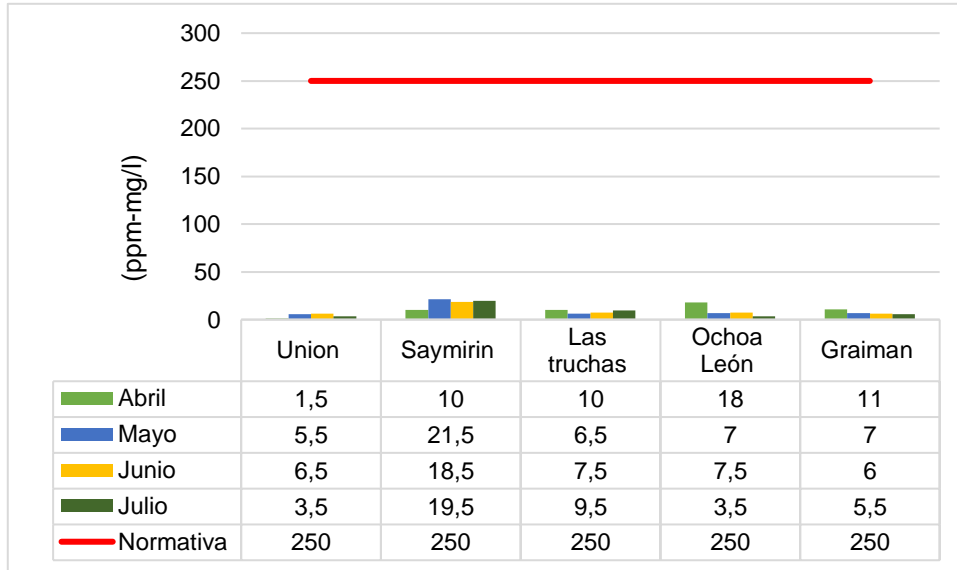


Figura 11. Monitoreo de sulfatos

Una observación interesante reside en la variabilidad de los niveles de sulfatos en todos los puntos. En particular en Saymirín donde emerge como un punto con concentraciones relativamente elevadas de sulfatos. Esta situación podría estar relacionada con la presencia de la central hidroeléctrica en dicha ubicación. Por otro lado, el punto "La Unión" se caracteriza por presentar menores concentraciones de sulfatos en comparación con los otros puntos. Esto puede ser influenciado por características geológicas y geográficas locales, así como por la ausencia de fuentes significativas de contaminación en la cercanía (Bolaños-Alfaro et al., 2017).

Este análisis subraya la importancia de comprender las fuentes y los procesos que contribuyen a la variabilidad en los niveles de sulfatos. Las diferencias geográficas, así como la influencia de actividades antrópicas como la operación de infraestructuras, pueden jugar un papel crucial en la composición química del agua (Mendoza et al., 2015).

4.2.4 Demanda química de oxígeno

El análisis detallado de los niveles de DQO, presentados en la figura 12, nos da una visión clara y sustancial sobre la calidad del agua. Estos niveles fueron comparados con la normativa establecida de 40 mg/l (TULSMA, 2015). A primera vista, es notable que tres de los puntos de monitoreo superan los límites normativos en relación con los niveles de DQO. El punto de La Unión muestra una clara superación de la normativa, registrando valores de 53 ppm y 56,5 ppm, lo que indica una carga considerable de contaminantes. Además, el punto de Saymirín presenta valores de 55 ppm en el mes de julio, mientras que el punto de Las Truchas registra niveles de 54,5 ppm en el mismo mes.

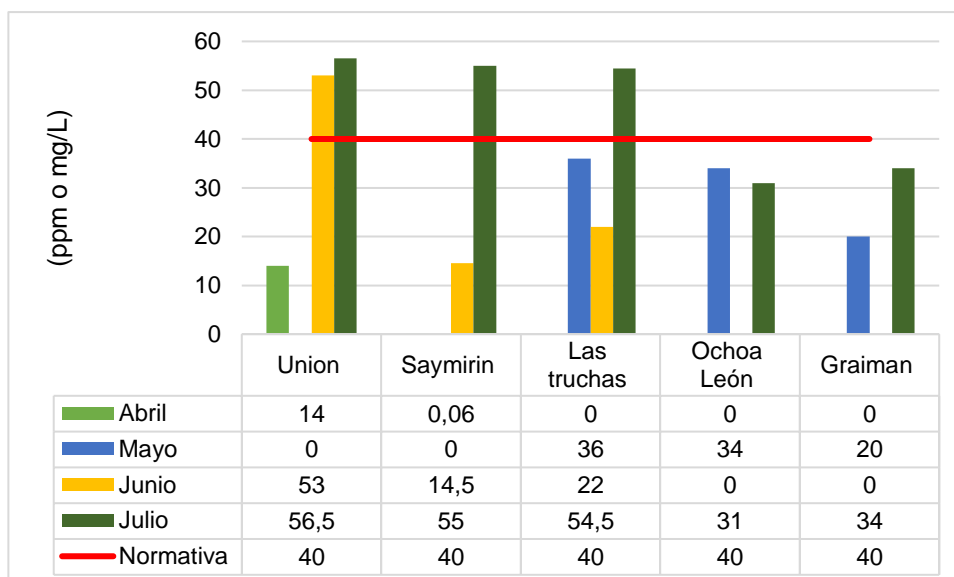


Figura 12. Monitoreo de DQO

Los meses de junio y julio son épocas de pocas precipitaciones, aumentando la concentración de contaminantes en el agua debido a la menor dilución causada por la disminución del caudal. Los valores de DQO en la época de sequía son altos ya que en esta época existe mejor disolución contaminantes como la MO (Quilumbaqui, 2017).

4.2.5 Fosfatos

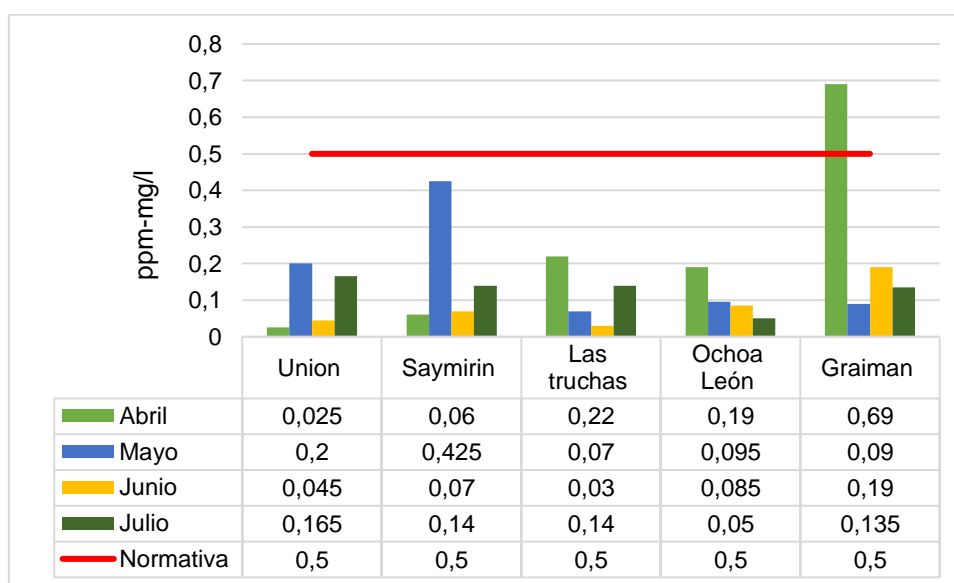


Figura 13. Monitoreo de Fosfatos

La figura 13 presenta una evaluación detallada de los resultados obtenidos a partir del monitoreo de fosfatos. Estos resultados se someten a una comparación con los estándares establecidos por el TULSMA (2015), que fija un límite máximo de 0,5 ppm (partes por millón) como umbral para garantizar la ausencia de contaminación en el agua. En la figura 13, se puede visualizar que la mayoría de los puntos de monitoreo se ajustan a la normativa. No obstante, se observa que en el punto Graitman durante el mes de abril que es la época de lluvia supera los límites establecidos, lo cual, se debe a la presencia de actividades industriales y la cercanía al camal. Las actividades

industriales tienen el potencial de contribuir a la liberación de fosfatos en el agua (Meneses-Campo et al., 2019).

4.2.6 Hierro

En la figura 14, se exhiben los niveles de hierro detectados en el agua, y resulta esencial destacar la normativa establecida por el TULSMA (2015), que fija un límite máximo de 0,3 ppm para el contenido de hierro en los ríos. En un análisis detallado donde se evidencia que los valores exceden esta normativa. El mes de abril se caracteriza por presentar un nivel de hierro de 0,43 ppm, rebasando ligeramente el límite normativo. Asimismo, el mes de mayo registra un valor de 0,4 ppm en el punto La Unión.

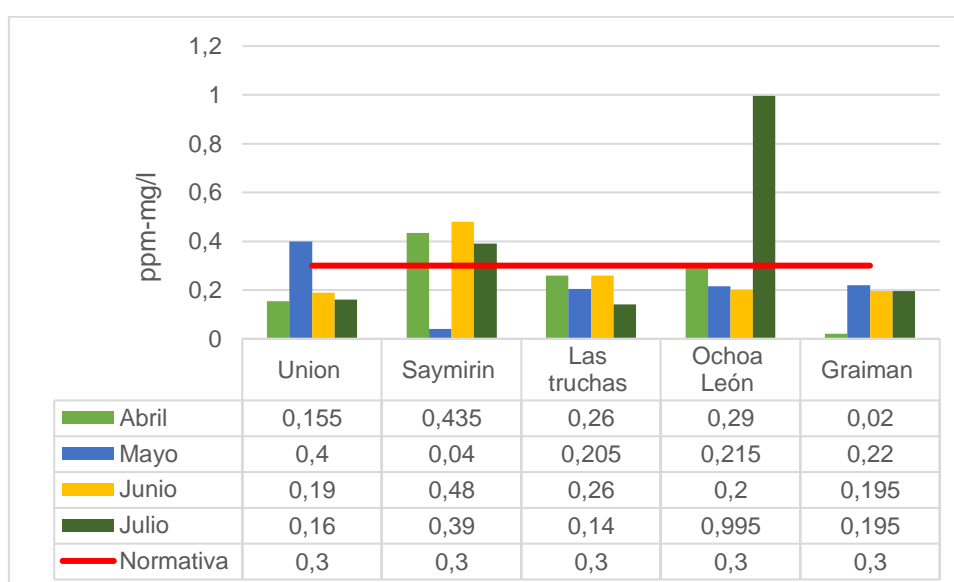


Figura 14. Monitoreo de hierro

La situación persiste en junio, en el que se observan valores elevados en el punto "Saymirín". De manera similar, en el mes de julio, tanto el punto "Saymirín" (0,39 ppm) como el punto "Ochoa León" (0,995 ppm) exceden los límites establecidos. Esta última cifra representa el valor máximo de hierro, superando notoriamente el límite máximo establecido por la normativa.

La variabilidad en los niveles de hierro en estos meses se atribuye a las diferentes actividades llevadas a largo de la cuenca del río. Las fuentes de hierro en el agua incluyen procesos industriales, escorrentía de áreas urbanas y agrícolas, y posiblemente la erosión natural de suelos ricos en hierro. La influencia de las actividades antrópicas refleja las variaciones de hierro en el agua (Valencia, 2011).

4.2.7 Sólidos suspendidos

En la figura 15, se exponen los resultados del monitoreo de sólidos suspendidos en los cinco puntos de muestreo a lo largo de distintos meses. Es crucial señalar que el valor máximo permitido, según lo estipulado por el TULSMA (2015), para aguas de río, es de 100 ppm. A través de un análisis detenido, se puede concluir que los sólidos suspendidos no superan esta normativa. No obstante, se observa una cifra máxima registrada de 58,05 ppm, un valor inferior al límite normativo.

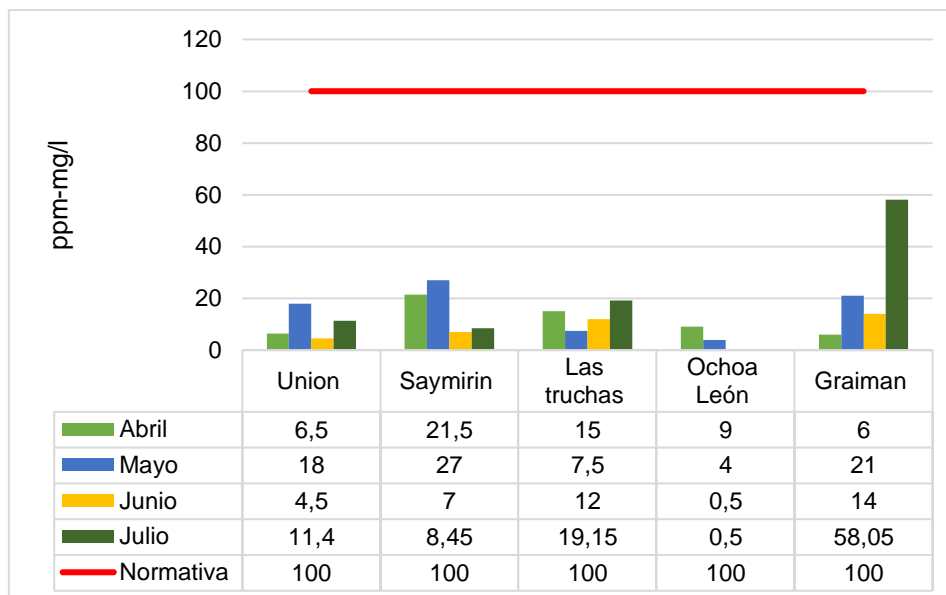


Figura 15. Monitoreo de los sólidos suspendidos

Se puede observar que, en el mes de julio, caracterizado por ser época de sequía, se detecta un valor máximo entre todos los valores de 58,05 ppm. La falta de lluvia genera un pequeño aumento de SS (Soria, 2016). Esta observación resalta la influencia de las condiciones climáticas en la composición del agua en términos de sólidos suspendidos. Estos sólidos pueden provenir de diversas fuentes, como la erosión de suelos, la actividad humana y la escorrentía, lo que tiene un impacto en los ecosistemas (Escandón & Cáceres, 2022).

4.3 Resultados de los macroinvertebrados bentónicos

En el siguiente apartado se presentan detalladamente los macroinvertebrados descubiertos en diversos puntos de monitoreo, con un enfoque particular en la tabla 7, la cual se centra en los macroinvertebrados bentónicos hallados en el punto de La Unión. Es importante destacar que este punto exhibe una biodiversidad considerablemente más amplia a comparación de los otros puntos.

La diversidad biológica de un ecosistema acuático proporciona información sobre la calidad del agua para verificar las condiciones ambientales de dicho entorno. En la tabla 7, se observa un incremento notable tanto en la cantidad como en la variedad de especies de macroinvertebrados en La Unión en comparación con los otros lugares de muestreo. Este aumento en la biodiversidad indica que la condición ambiental en este punto es mejor en comparación a los otros puntos.

En lo que respecta a las especies, es crucial mencionar aquellas que han demostrado ser significativamente representativas en términos de biodiversidad y valor indicativo de calidad del agua. En la familia Hydrobiosidae, se ha asignado una puntuación de 9 en el índice BMWP/COL. En el caso de la familia Naucoridae, se ha otorgado una puntuación de 8 en el mismo índice, lo que subraya su sensibilidad a los cambios del medio y su capacidad para indicar la calidad del agua de manera efectiva. Similarmente, la familia Leptoceridae tiene un valor de 8 en el índice, reforzando la noción de que su presencia es indicativa de condiciones acuáticas saludables.

Tabla 7. Macroinvertebrados La Unión

Macroinvertebrados bentónicos		
La Unión		
Clase	Orden	Familia
Oligochaeta	---	---
Arachnida	Trombidiformes	---
Malacostraca	Amphipoda	Hyaellidae
Turbellaria	Tricladida	Dugesidae
Hirudinea	---	Glossiphoniidae
Insecta	Coleoptera	Elmidae
Insecta	Diptera	Tipulidae
Insecta	Diptera	Ceratopogonidae
Insecta	Trichoptera	Hydrobiosidae
Insecta	Coleoptera	Hydrophilidae
Insecta	Coleoptera	Hydraenidae
Insecta	Diptera	Limoniidae
Insecta	Diptera	Chironomidae
Insecta	Diptera	Simuliidae
Insecta	Coleoptera	Scirtidae
Insecta	Hemiptera	Naucoridae
Insecta	Trichoptera	Leptoceridae

La tabla 8 proporciona una visión detallada de los macroinvertebrados en el punto de monitoreo de Saymirín. Al observar la información presentada, se destaca la presencia de ciertas especies que han obtenido una puntuación máxima de 10 en el índice BMWP/COL. Entre estas especies, se encuentran la Gordiidae y la Ptilodactylidae. Este hallazgo es sumamente significativo, ya que apunta hacia condiciones de alta calidad en este entorno acuático en particular.

La presencia de especies indicadoras de agua de alta calidad en un entorno con actividad hidroeléctrica puede ser interpretada como un indicio positivo.

Tabla 8. Macroinvertebrados de Saymirín.

Macroinvertebrados bentónicos		
Saymirín		
Clase	Orden	Familia
Arachnida	Trombidiformes	---
Gordioidea	---	Gordiidae
Insecta	Coleoptera	Elmidae
Insecta	Diptera	Tipulidae
Insecta	Diptera	Caratopoganidae
Insecta	Trichoptera	Hydrobiosidae
Insecta	Coleoptera	Hydrophilidae
Insecta	Coleoptera	Ptilodactylidae
Insecta	Diptera	Limoniidae
Insecta	Ephemeroptera	Baetidae
Insecta	Ephemeroptera	Leptophlebiidae
Insecta	Diptera	Chironomidae
Insecta	Diptera	Simuliidae
Insecta	Trichoptera	Polycentropodidae

En el área correspondiente al punto de observación denominado Las Truchas , se han identificado diversas especies de macroinvertebrados, cuyas puntuaciones en el índice BMWP/COL proporcionan información significativa sobre la salud del entorno acuático. Específicamente, se han encontrado especies con una puntuación de 9, como es el caso de la familia Polycentropodidae, lo que sugiere una alta sensibilidad a la calidad del agua y una indicación positiva sobre la condición ambiental en esta zona. No obstante, también se ha registrado la presencia de especies con una puntuación de 1, como las Oligochaetas, indicando una menor sensibilidad y, posiblemente, una adaptación a condiciones óptimas en el agua.

Es crucial analizar estos hallazgos en el contexto más amplio del entorno circundante. Se ha observado que en esta región se están llevando a cabo actividades agrícolas y que la presencia de viviendas es notable. Estas actividades antropogénicas tienen un impacto directo en la calidad del agua y el ecosistema acuático en general. Las aguas residuales provenientes de actividades agrícolas, así como los productos químicos utilizados en el proceso, se filtran en el agua y afectan la vida acuática. Del mismo modo, la urbanización y la construcción de viviendas influyen en la calidad del agua debido a la escorrentía de aguas pluviales y la modificación del hábitat circundante.

Tabla 9. Macroinvertebrados bentónicos Las Truchas

Macroinvertebrados bentónicos Las Truchas		
Clase	Orden	Familia
Oligochaeta	---	---
Arachnida	Trombidiformes	---
Turbellaria	Tricladida	Dugesidae
Hirudinea	---	Glossiphoniidae
Insecta	Coleoptera	Elmidae
Insecta	Diptera	Tipulidae
Insecta	Diptera	Caratopoganidae
Insecta	Coleoptera	Hydroptilidae
Insecta	Diptera	Limoniidae
Insecta	Ephemeroptera	Baetidae
Insecta	Hemiptera	Naucoridae
Insecta	Ephemeroptera	Leptophlebiidae
Insecta	Diptera	Chironomidae
Insecta	Diptera	Simuliidae
Insecta	Trichoptera	Polycentropodidae

Al analizar el punto de monitoreo denominado Ochoa León , se han identificado diversas especies de macroinvertebrados que ayudan a saber sobre la salud del ecosistema acuático en esta área. Específicamente, se ha registrado la presencia de la familia Caratopoganidae, la cual tiene la puntuación de 9 en el índice BMWP/COL. Paralelamente, también se han detectado especies pertenecientes a la familia Chironomidae, con una puntuación más baja de 2 en el mismo índice. Estos resultados reflejan una imagen matizada de la calidad del agua en esta región.

La variabilidad en las puntuaciones del índice BMWP/COL sugiere que el punto de monitoreo Ochoa León presenta un escenario con ciertas complejidades. La familia Caratopoganidae con su puntuación elevada indica una sensibilidad a la calidad del agua, sugiriendo condiciones relativamente saludables en el entorno acuático. Por otro lado, la presencia de especies de la familia Chironomidae con una puntuación más baja podría señalar una adaptación a condiciones de agua óptimas.

Sin embargo, es crucial considerar el contexto en el que se enmarca este punto de monitoreo. La mención de actividades agrícolas a lo largo de las riberas de los ríos y el proceso de asfaltado de la calle cercana pueden ejercer influencia en la calidad del agua. Las aguas de escorrentía de las áreas agrícolas transportan sedimentos y productos químicos a los cuerpos de agua, lo que potencialmente afecta la salud del ecosistema acuático. Del mismo modo, las prácticas de construcción y asfaltado dan lugar a la erosión del suelo y la introducción de contaminantes al agua.

Tabla 10. Macroinvertebrados bentónicos de Ochoa león

Macroinvertebrados bentónicos		
Ochoa León		
Clase	Orden	Familia
Oligochaeta	---	---
Arachnida	Trombidiformes	---
Turbellaria	Tricladida	Dugesidae
Gastropoda	Pulmonata	Lymnaeidae
Gastropoda	Pulmonata	Physidae
Insecta	Coleoptera	Elmidae
Insecta	Diptera	Tipulidae
Insecta	Trichoptera	Hydrobiosidae
Insecta	Diptera	Ceratopogonidae
Insecta	Coleoptera	Hydrophilidae
Insecta	Coleoptera	Hydraenidae
Insecta	Coleoptera	Dytiscidae
Insecta	Diptera	Limoniidae
Insecta	Ephemeroptera	Baetidae
Insecta	Ephemeroptera	Leptophlebiidae
Insecta	Diptera	Chironomidae
Insecta	Diptera	Simuliidae
Insecta	Trichoptera	Polycentropodidae

La tabla 11 detalla la presencia de los macroinvertebrados hallados en el punto de monitoreo "Graiman". En esta ubicación, se registra una biodiversidad y abundancia relativamente baja en comparación con otros puntos de estudio. Entre las especies identificadas, se destaca la Oligochaeta, la cual exhibe la mayor abundancia y posee una puntuación de 1 en el índice BMWP/COL.

La observación de una biodiversidad reducida y la predominancia de una sola especie, como la Oligochaeta, es un indicador clave de la posible influencia de factores externos en el ecosistema acuático. La baja puntuación en el índice BMWP/COL para la Oligochaeta sugiere una adaptación a condiciones óptimas. La presencia de las actividades industriales en el área circundante tiene un impacto significativo en la calidad del agua y, por ende, en la biodiversidad y abundancia de los macroinvertebrados. Los desechos industriales, productos químicos y otros contaminantes pueden filtrarse en las aguas cercanas, lo que potencialmente afecta a la biota acuática y reduce la diversidad biológica.

Tabla 11. Macroinvertebrados del punto de Graiman

Macroinvertebrados bentónicos Graiman		
Clase	Orden	Familia
Oligochaeta	---	---
Gastropoda	Pulmonata	Physidae
Turbellaria	Tricladida	Dugesiidae
Hirudinea		Glossiphoniidae
Insecta	Coleoptera	Elmidae
Insecta	Trichoptera	Hidrobiosidae
Insecta	Diptera	Ceratopogonidae
Insecta	Coleoptera	Hydrophilidae
Insecta	Diptera	Limoniidae
Insecta	Ephemeroptera	Baetidae
Insecta	Ephemeroptera	Leptophlebiidae
Insecta	Diptera	Chironomidae
Insecta	Trichoptera	Polycentropodidae

En el estudio realizado por Meneses-Campo et al., (2019) ,demuestra que en la cuenca alta, media y baja, la familia que muestra una mayor abundancia es la Baetidae y Chironomidae. Este hallazgo señala la presencia destacada de estas familias en diversas partes de la cuenca, lo que sugiere una importancia ecológica significativa en esos entornos acuáticos. Adicionalmente, otro estudio llevado a cabo por Alomía & Chimbo (2014), en la microcuenca del río Machángara, establece que la familia que se encuentra con mayor abundancia es la Baetidae. Además, se observa que las familias Leptophlebiidae y Leptohyphidae aparecen a lo largo de todo el año, en diferentes meses. Estos resultados resaltan la dinámica estacional de la presencia de estas familias en la microcuenca, lo que puede estar relacionado con cambios en las condiciones ambientales a lo largo de las estaciones.

4.4 Resultados de BMWP/COL

En la tabla 12 se presentan los resultados del análisis BMWP/COL en dos épocas diferentes: sequía y lluvia. Esta tabla muestra los indicadores de calidad del agua obtenida durante estas dos condiciones climáticas.

Tabla 12. Índice de la calidad del agua

Puntos	Índices BMWP/COL de calidad del agua			
	Lluvia		Sequia	
	Abril	Mayo	Junio	Julio
Unión	27	58	49	65
Saymirín	55	48	48	49
Las truchas	26	60	48	59
Ochoa	59	46	45	32
Graiman	15	27	35	38

En La Unión, los valores del índice de BMWP/COL varían desde 65, indicando una calidad de agua aceptable; hasta 27, reflejando aguas muy contaminadas. En el estudio de Calle (2023) sobre la cuenca alta del Machángara, se encontró que, según el índice biótico BMWP/COL, durante el mes de lluvia, la calidad del agua es ligeramente contaminada. Otro estudio de Alomía & Chimbo (2014) en la Cuenca alta del río Machángara encuentran índices de aguas contaminadas en la época de lluvia.

En el punto de monitoreo Saymirín, los valores fluctúan entre 55 y 48, lo que apunta que se evidencia que el agua está contaminada. En el caso del punto de monitoreo Las Truchas, los valores se extienden desde 60, denotando aguas contaminadas, hasta 26, representando aguas muy contaminadas, dentro de este punto se realizan actividades agrícolas y existen criaderos de truchas siendo la principal causa de la contaminación del agua. En el punto de monitoreo Ochoa León, los valores exhiben un espectro desde 59, asociados a valores de calidad de agua contaminada, hasta 32, que indica aguas muy contaminadas, en este punto se aumenta las actividades agropecuarias y también el asfaltado de la calle. En el punto "Graiman", se registran valores que van desde 38, lo que representa aguas contaminadas, hasta 15, un nivel que indica aguas fuertemente contaminadas. Estos valores se deben a que en este punto es zona industrial y también a la presencia del camal.

En la tabla 12 se puede visualizar cómo los patrones climáticos ejercen una influencia significativa en la presencia de macroinvertebrados. Durante los meses de lluvia, se observa que en tres puntos el agua está muy contaminada y fuertemente contaminada, en cambio, en los meses de sequía presentan una dinámica opuesta, en este periodo, se evidencia que en cuatro puntos el agua está contaminada y en otra el agua es aceptable. En el estudio realizado por Jerves-Cobo et al. (2017) en la cuenca del Machángara la calidad del agua medida con el BMWP/COL fue aceptable en la época de lluvia. Otro estudio realizado por Meneses-Campo et al. (2019) en ríos altoandinos de Colombia se evidencia un patrón distinto durante el mes de julio, cuando se registran bajas precipitaciones, evaluada a través del índice BMWP/COL, es calificada como aceptable en esta época, en cambio, durante la temporada de lluvia, la calidad del agua se considera buena. Según Jerves-Cobo et al. (2017) esto podría deberse al estrés ambiental causado por factores naturales como la alteración de los sitios de los arroyos debido a las malas condiciones del hábitat, el impacto de las fuertes lluvias en la temporada de lluvias.

4.5 Resultados de la temperatura de la zona hiporréica

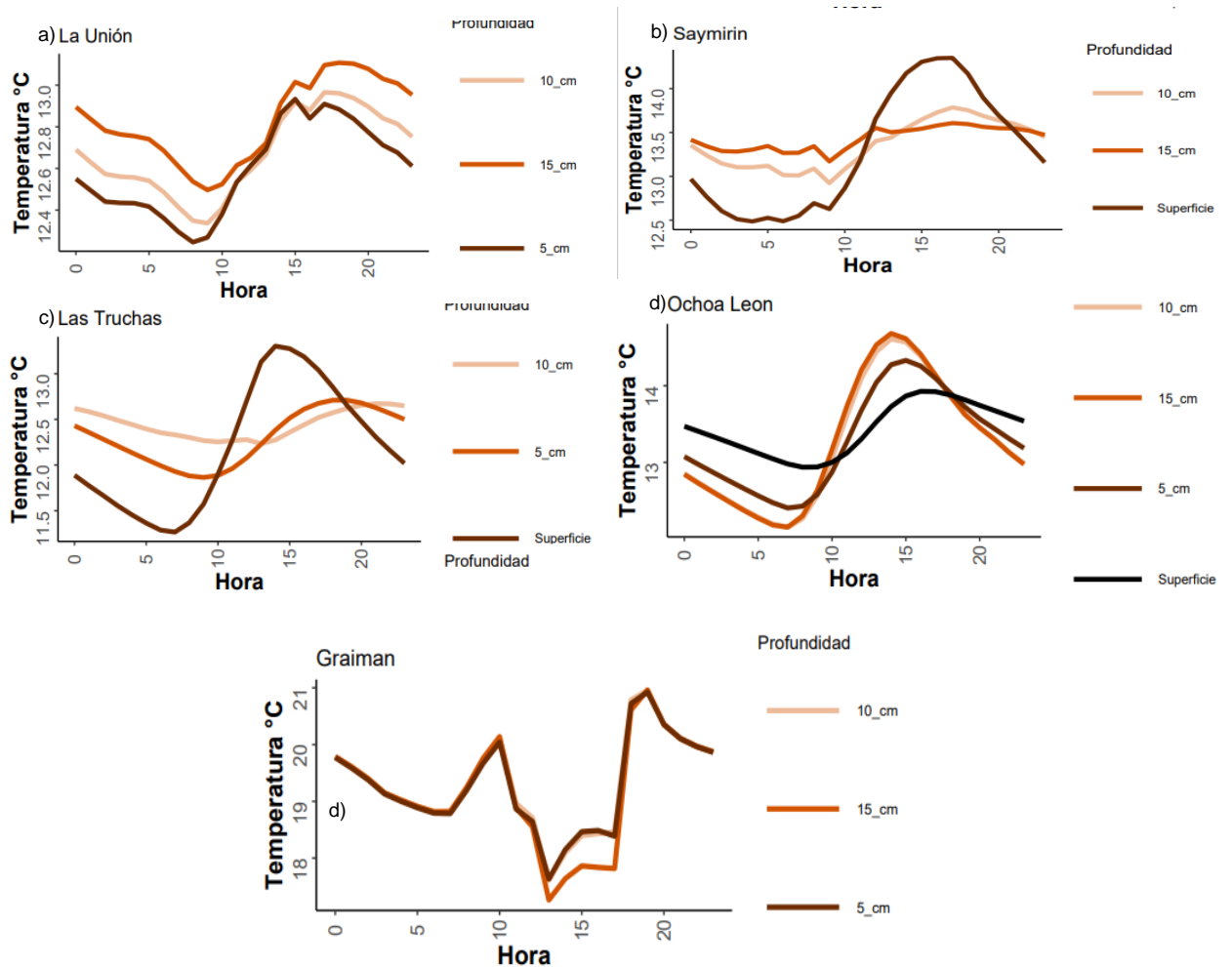


Figura 16. Temperatura de la zona hiporréica en diferentes localidades: a) La Unión, b) Saymirín, c) Las Truchas, d) Ochoa León, e) Graiman

En el gráfico 16, podemos observar las temperaturas en la zona hiporréica a diferentes profundidades: 5 cm, 10 cm y 15 cm. En el punto La Unión, se observó que el comportamiento de la temperatura en la zona hiporréica no es consistente entre las tres profundidades. Se observa una variación de 0,2°C entre las 12 am y la 1 pm, luego se mantiene estable entre la 1 pm y las 2 pm. Sin embargo, después de esta hora, las temperaturas en las tres zonas cambian. Es importante señalar que la temperatura varía según la ubicación de cada sensor: a 5 cm de profundidad, las temperaturas son bajas; a 10 cm, se presenta una temperatura promedio; y a 15 cm, se registran temperaturas más altas debido a su ubicación subterránea.

Con respecto al punto de Saymirín en la línea de temperatura a 5 cm (superficial), se observó bajas temperaturas desde las 12 am hasta las 10 am, oscilando entre 12,5°C y 13°C. Sin embargo, estas temperaturas cambian a partir de las 10 am hasta las 8 pm, con un pico de temperatura hasta 14,5°C. El comportamiento de la temperatura entre las profundidades de 10 cm y 15 cm es similar entre las 12 am y las 12 pm, con una diferencia de 0,5°C.

En este período, la zona subterránea (15 cm) presenta la temperatura más alta, pero esta diferencia cambia entre las 12 pm y las 11 pm, ya que la temperatura de la zona subterránea disminuye mientras que la zona hiporréica aumenta, con una diferencia de 0, 1°C. En el gráfico que muestra las temperaturas del sector Las Truchas en la zona hiporréica, se observó que el comportamiento no es uniforme en las tres profundidades. A 5 cm de profundidad, se presentan bajas temperaturas entre las 12 am y las 10 am, pero después de las 10 am y hasta las 7 pm, la

temperatura aumenta para luego disminuir nuevamente. El comportamiento entre las alturas de 10 cm y 15 cm es bastante similar: entre las 12 am y las 2 pm, la temperatura varía en 0,7°C, siendo la altura de 10 cm la más alta. Sin embargo, este patrón cambia entre las 2 pm y las 7 pm, cuando la temperatura de la zona de 15 cm aumenta en 0,2°C con respecto a la de 10 cm.

En el gráfico de las temperaturas de la zona hiporréica en Ochoa León, se observó un comportamiento similar entre las alturas de 10 cm y 15 cm en términos de hora y temperatura. Sin embargo, el comportamiento varía para la altura de 5 cm (superficial). Entre las 12 am y las 8 am, la temperatura a 5 cm es más alta que en las otras alturas, con una diferencia de 0,1°C. Esto cambia entre las 8 am y las 5 pm, cuando la temperatura en esta zona es más baja que en las otras alturas, con una diferencia de 0,2°C. Es importante destacar que, durante este período, las tres alturas aumentan.

Por último, en el gráfico de Graiman de las temperaturas de la zona hiporréica, se observó un comportamiento similar entre las tres alturas, pero cambia entre las 1 pm y las 5 pm. Durante este lapso, la temperatura a 15 cm (subterránea) disminuye en comparación con las otras alturas, presentando una diferencia de 0,2°C. Sin embargo, después de este período, las temperaturas se mantienen estables en las tres alturas.

En el estudio realizado por Rasines (2017) describe que la zona hiporréica cambia respecto a la noche y al día, pues en la noche los niveles de temperatura de la ZH disminuyen y en la tarde aumenta, dependiendo de la altitud. Si la temperatura de la zona hiporréica experimenta cambios, altera significativamente la presencia de los macroinvertebrados bentónicos, ya que la zona hiporréica sirve como refugio fundamental para los macroinvertebrados (Gómez, 2003).

4.6 Resultados del cambio de uso de suelo entre los años 2018-2023

Un estudio comparativo fue llevado a cabo con el propósito de analizar y entender las transformaciones que han tenido lugar en el uso del suelo durante el lapso comprendido entre los años 2018 y 2023. El enfoque central de este estudio reside en la identificación de los cambios en la cobertura vegetal a lo largo de este período.

Mediante este mapa, es posible observar la manera en que el uso del suelo ha evolucionado en estos cinco años. Uno de los hallazgos es el aumento del área poblada con un 1,69% y la infraestructura con un 0,04%. Este aumento en el espacio ocupado por la población señala la tendencia hacia el crecimiento y el desarrollo urbano en la región bajo estudio. Estas modificaciones en el uso del suelo están relacionadas con una variedad de factores, que incluyen el crecimiento demográfico, la expansión de las infraestructuras urbanas y el desarrollo económico que está tomando lugar en la zona. Según Villalta & Yumbay (2020) en su estudio describen el incremento de la zona urbana en la microcuenca Guallicanga baja y media.

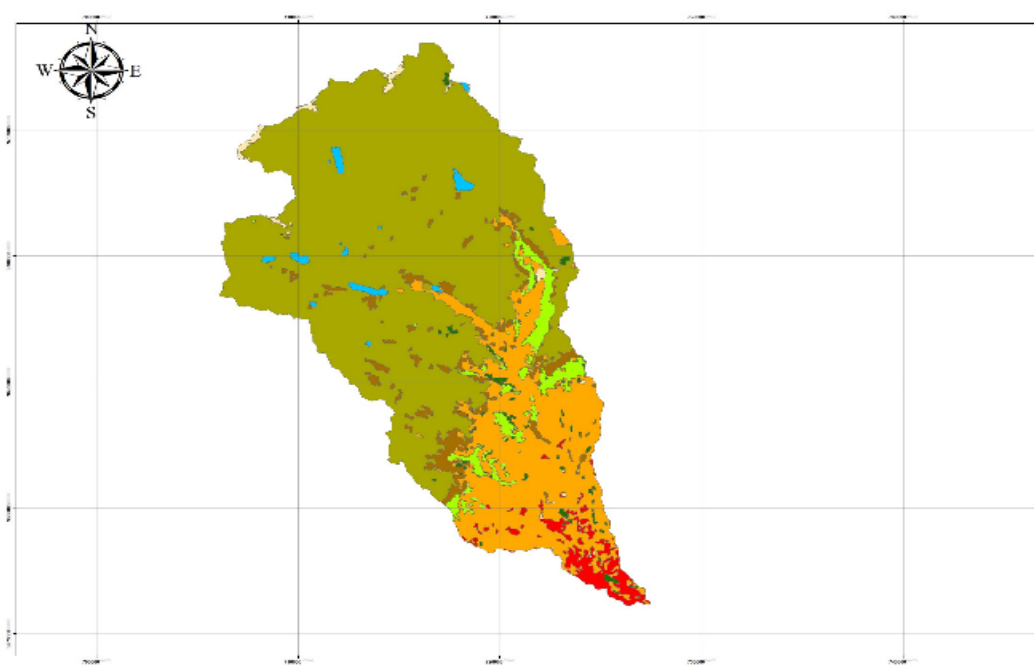
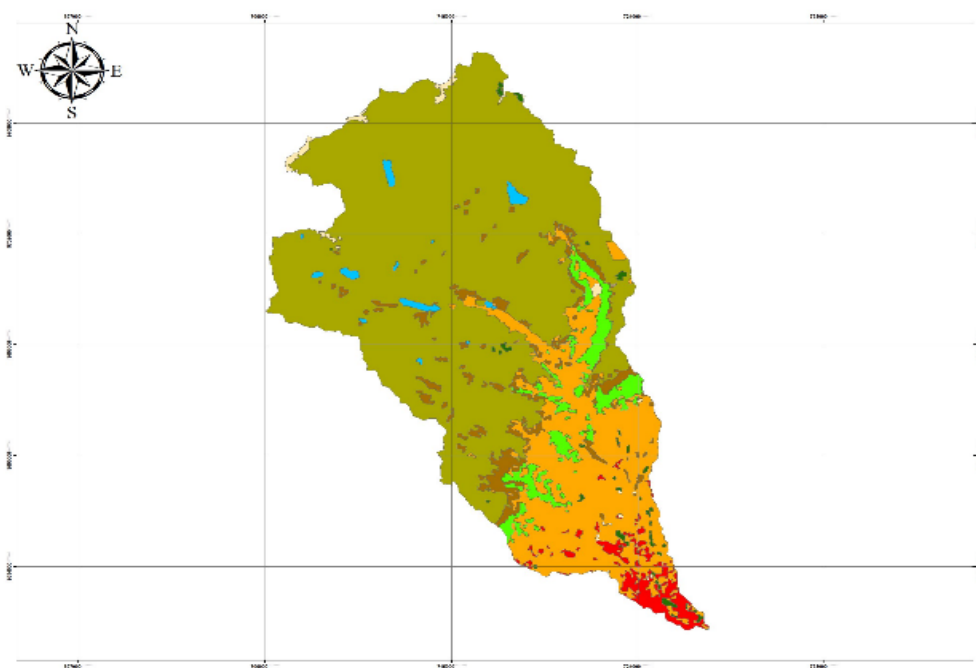
A lo largo de los cinco años el uso de suelo ha tenido un incremento generalizado en el área de la cuenca destinada a la actividad agropecuaria, que ha experimentado un aumento del 0,72%. El estudio realizado por (Pabón, 2022), que abarcó un período entre los años 2008 y 2018, revela que el cambio en el uso de suelo en la cuenca del río Tabacay, ha evidenciado un mayor crecimiento en los usos de suelo destinado a la actividad agropecuaria.

Tabla 13. Tabla de cambio de uso de suelo entre los años 2018-2023

Cambio del uso del suelo desde 2018 - 2023			
Área Poblada	1,69%	Páramo	-0,25%
Área Sin Cobertura Vegetal	-0,95%	Plantación Forestal	-0,03%
Bosque Nativo	-0,89%	Tierra Agropecuaria	0,72%
Infraestructura	0,04%	Vegetación Arbustiva y Herbácea	-0,60%

La tabla 13 proporciona información de las áreas que han experimentado pérdidas y ganancias en términos de cambio de uso de suelo entre el período de 2018 y 2023. En este análisis, se observa que seis áreas específicas han cambiado el uso del suelo. Estas áreas son los páramos, bosques naturales, plantaciones forestales, etc.; que han sufrido una disminución en su extensión. También se puede ver que tres áreas han experimentado un aumento en su extensión, siendo el área poblada una de las que ha mostrado un incremento notable. En el estudio de Pinos-Arévalo (2016) en el cambio y uso de suelo en el Cantón Cuenca, se encontró que existe expansión de la zona urbana y tierras agropecuarias, disminuyendo las extensiones de páramos, bosques nativos, tierras herbáceas y arbustivas en un escenario hasta el 2030.

Cambio del uso del suelo en la Cuenca del Machángara



Uso Del Suelo Año 2018

Uso Del Suelo Año 2023

Leyenda

Uso y Cobertura Del Suelo

- | | | |
|----------------------------|-----------------|----------------------|
| AREA POBLADA | BOSQUE NATIVO | PLANTACION FORESTAL |
| AREA SIN COBERTURA VEGETAL | INFRAESTRUCTURA | TIERRA AGROPECUARIA |
| | NATURAL | VEGETACION ARBUSTIVA |
| | PARAMO | |

ESCALA:

Kilometers
10 25 50 75 100

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA



Figura 17. Uso del suelo en la cuenca del Machángara en los años 2018 y 2023

4.7 Correlación de parámetros físico-químicos, biológicos y uso de suelo.

La figura 18 de correlación canónica ofrece una valiosa perspectiva sobre la relación entre los parámetros físicoquímicos y el uso del suelo en diferentes puntos de monitoreo. A partir del análisis de esta figura, se pueden destacar varios patrones interesantes.

Se observa una analogía significativa entre los puntos de Ochoa León y Graitman. Estos puntos presentan una mayor concentración de valores de sólidos suspendidos, fosfatos y amonio. Esta tendencia es atribuida a una mayor densidad poblacional y actividades antrópicas en estas áreas en comparación con otros puntos.

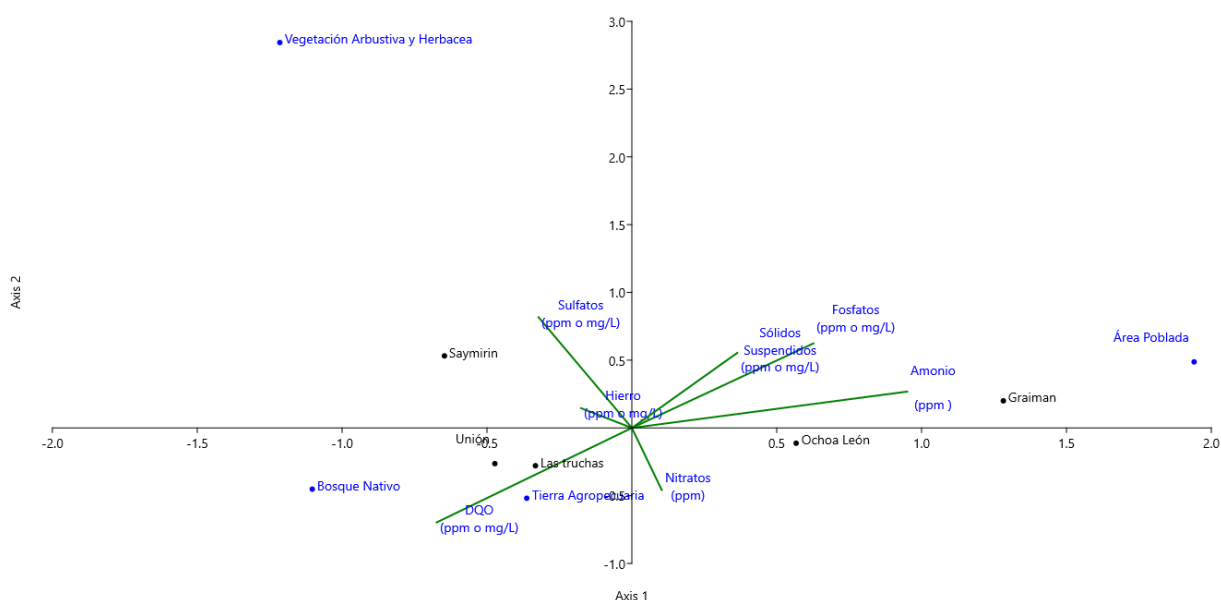


Figura 18. Correlación de los parámetros físico-químico con el uso del suelo

Por otro lado, en el punto Saymirín, se distingue un incremento en los niveles de sulfatos y hierro, por la geología del lugar. Los puntos de La Unión y Las Truchas muestran una correlación más marcada con el DQO. Las Truchas se evidencian áreas dedicadas a actividades agrícolas y criadero de truchas, que están relacionadas con los niveles de DQO más elevados en esta localidad.

En la figura 19 se presenta la correlación entre los macroinvertebrados y el uso del suelo. Al analizar esta representación gráfica, se pueden identificar patrones sobre la relación entre los macroinvertebrados bentónicos y el uso de suelo en diversos puntos de estudio.

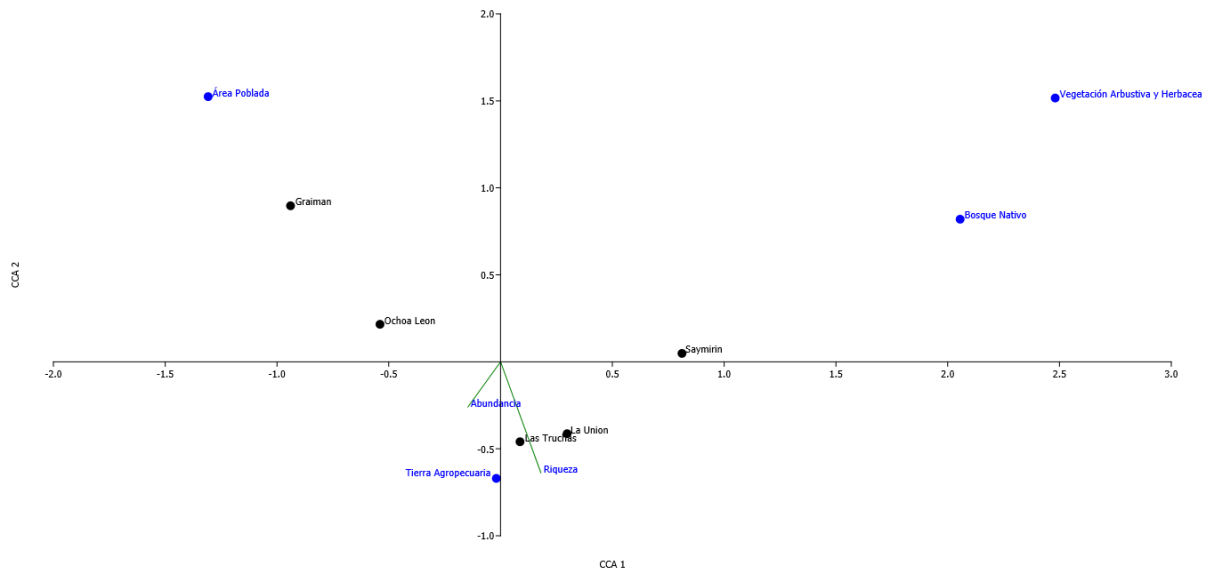


Figura 19. Correlación del uso del suelo con la riqueza y abundancia de macroinvertebrados

Es evidente que los puntos de La Unión y Las Truchas muestran una mayor riqueza de macroinvertebrados, en el caso de Saymirín su localización de altitud hace que la biodiversidad sea menor y en los puntos bajos como Ochoa León y Graiman existe menor biodiversidad debido a la contaminación. En cuanto a la abundancia de especies bentónicas, se puede observar una correlación con la actividad agropecuaria en el suelo. Sin embargo, es interesante destacar que esta relación no parece estar directamente vinculada con la riqueza de especies. Esto sugiere que, aunque las prácticas agropecuarias pueden influir en la presencia de ciertas especies bentónicas, la abundancia de especies no se ve afectada de la misma manera (Balota, 2017). Por otro lado, los puntos de Ochoa León y Graiman muestran una correlación con las áreas pobladas, por lo tanto, existe una menor cantidad de macroinvertebrados en estas ubicaciones. La influencia de la actividad humana afecta negativamente a la biodiversidad de ecosistemas acuáticos.

La presencia de nitratos, fosfatos y sulfatos en zonas donde se tenga más tendencia a actividades antrópicas afecta a la presencia de macroinvertebrados bentónicos (Jacobsen, 1998). Los autores Burneo & Gunkep (2003) señalan que el número de especies de macroinvertebrados se reduce por la presencia de contaminantes orgánicos y fosfatos. En el estudio realizado por Villalta & Yumbay (2020), se presenta una perspectiva integral de como a lo largo de la microcuenca del río Guayicanga ubicado en la provincia del cañar, se evidencian cambios en el uso del suelo de bosque natural en la cuenca alta donde se encuentra más biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos y en la cuenca baja que tiene áreas pobladas no existe mucha biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES

- Este estudio presenta un valioso conjunto de hallazgos que nos da a conocer una visión profunda y precisa de la condición del agua y las modificaciones en la utilización del suelo en la cuenca del Río Machángara. Se pudo evidenciar que varios parámetros como: los niveles de hierro, los fosfatos y DQO, superan los límites máximos establecidos por las regulaciones ambientales.
- Un aspecto particularmente notable es la vulnerabilidad de los macroinvertebrados bentónicos, organismos sensibles y valiosos como indicadores de la calidad del agua. Sus poblaciones disminuyen en respuesta a cualquier cambio en la zona hiporréica que a su vez está influenciada por el uso del suelo, lo que subraya la necesidad de una gestión cuidadosa y estratégica de los ecosistemas acuáticos para preservar la biodiversidad y la funcionalidad de estos sistemas.
- En cuanto al cambio del uso del suelo con la ayuda de las imágenes satelitales, se proporciona una evidencia gráfica del cambio del paisaje en la cuenca. La expansión de las áreas agrícolas y urbanas, observada durante el período de estudio que abarcó desde 2018 hasta 2023, plantea preguntas críticas sobre la sostenibilidad de estas prácticas y sus consecuencias negativas en el equilibrio ecológico de la cuenca.
- Mediante un análisis de las variables en relación con el uso del suelo, se ha identificado conexiones significativas entre ambos aspectos. Estos resultados dejan en claro que la modificación del paisaje, como la conversión de áreas de vegetación natural en zonas urbanas o agrícolas, ejerce un impacto directo en la calidad del agua. Esta correlación subraya la imperante necesidad de implementar medidas de gestión del agua y del suelo más rigurosas y sostenibles en la cuenca del Machángara.

CAPÍTULO VI

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda mantener el programa regular de muestreo de calidad del agua para garantizar un control efectivo en el área de estudio y que sus resultados sean de uso público tales como el departamento de Gestión Ambiental de ETAPA EP. Lo venían cumpliendo.
- Difundir el plan de manejo de la cuenca del Machángara ejecutado por el Consejo de la Cuenca del Río Machángara entre los pobladores y la ciudadanía en general y monitorear las actividades propuestas en el plan.
- Realizar estudios en la cuenca alta para conocer la procedencia de niveles altos de sulfatos, hierro entre otros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, R., Hampel, E., Gonzalez, Mosquera, P., Sotomayor, G., & Galarza, J. (2014). *Protocolo de la evaluación de la integridad ecológica de los ríos de la región Austral del Ecuador*.
- Aguilar-Ibarra, A., & Pérez-Espejo, R. (2008). *La contaminación agrícola del agua en México: retos y perspectivas*. 39.
- Aguirre. (2011). La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. *Revista Virtual REDESMA*, 5, 9.
- Aguirre, N. (2012). Restauración Ecológica. *Recuperado EI*, 30.
- Allinger, N. L. (1983). *Química orgánica*. Reverté.
- Alomía, I., & Chimbo, J. (2014a). *Aplicación de una metodología para evaluar el caudal ambiental en dos proyectos hidroeléctricos de alta montaña en Ecuador: presas el labrado y Chanlud de la microcuenca del río Machángara, provincias de Azuay y Cañar*.
- Altieri Soto, M. A., & Nicholls, C. I. (2000). *Agroecología: teoría y práctica para una agricultura sustentable*.
- Andrade, C. H. J., Segura, M. M. A., & Canal, D. D. S. (2013). *Estrategias de adaptación al cambio climático en sistemas de producción agrícola y forestal en el departamento del Tolima*.
- Andrades, M., & Martínez, M. E. (2022). Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. *Universidad de Rioja*, 4ta.
- Artieda, O. (2015). Papel del suelo en el ciclo hidrológico. *Revista de La Cátedra Unesco Sobre Desarrollo Sostenible de La UPV/EHU*. N°2. 2008, 19.
- ATSDR. (2004). *ATSDR - Resumen de Salud Pública: Amoníaco*. www.atsdr.cdc.gov/es
- Badii, M. H., Castillo, J., Cortez, K., Wong, A., & Villalpando, P. (2007). Correlación canónica Análisis de correlación canónica (ACC) e investigación científica (Canonical correlation analysis and scientific research). *InnovaciOnes de Negocios*, 4(2), 405–422.
- Ballesteros, N. Y.-V., Cantera, K. J.-R., Peña, S. E.-J., & Pinilla, A. G. (2022a). Efecto de variables abióticas en la fauna hiporreica del río Dagua, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 70(1), 589–606.
- Balota. (2017). *Conservación de los recursos naturales para una agricultura sostenible*.
- Barreto, P. (2010). *Protocolo de monitoreo de agua*.
- Benalcázar, R. (2022). *Aplicación de la información geográfica oficial en los gobiernos autónomos descentralizados municipales, responsables del ordenamiento territorial en Ecuador*.
- Beuf, A. (2012). Concepción de centralidades urbanas y planeación del crecimiento urbano en la Bogotá de siglo XX. *Consultado En: [Http://Www. Ub. Edu/Geocrit/Coloquio2012/Actas/07-A-Beuf. Pdf](http://www.ub.edu/Geocrit/Coloquio2012/Actas/07-A-Beuf.Pdf)*.
- Bocel, C. J. C. (2016). *Modelación hidrológica para evaluar los niveles de erosión hídrica y producción de sedimentos en diferentes usos y coberturas de la tierra y su efecto en la calidad del agua en la subcuenca del río San Francisco, cuenca del lago de Atitlán, Guatemala*.

- Bojaca, R. del P. (2007). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*.
- Bolaños-Alfaro, J. D., Cordero-Castro, G., & Segura-Araya, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Revista Tecnología En Marcha*, 30(4), 15. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>
- Brugos, R. (2004). *Humedales naturales y artificiales para tratamiento de agua*.
- Bueñaño, M., Vásquez, C., Zurita-Vásquez, H., Parra, J., & Pérez, R. (2018). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua en la cuenca del Pachanlica, provincia de Tungurahua, Ecuador. *Intropica*, 13(1), 41. <https://doi.org/10.21676/23897864.2405>
- Burgos, A., & Bocco, G. (2015). La cuenca hidrográfica como espacio geográfico. *Dimensiones Sociales En El Manejo de Cuencas, México: CIGA-UNAM*. Pp, 11–29.
- Burneo, P., & Gunkep, G. (2003). LIMNOLOGICA Ecology of a high Andean stream, Rio Itambi, Otavalo, Ecuador. In *Limnologica* (Vol. 33). <http://www.urbanfischer.de/journals/limno>
- Calle, C. (2023). *Relación de los parámetros físico-químicos sobre la diversidad de macroinvertebrados en la zona hiporreica: del afluente y efluente de las represas El Labrado y Chanlud*.
- Campaña, A., Gualoto, E., & Chiluisa-Utreras, V. (2017). Evaluación físico-química y microbiológica de la calidad del agua de los ríos Machángara y Monjas de la red hídrica del distrito metropolitano de Quito. *Bionatura*, 2(2), 305–310.
- Cárdenas. (2022). *Análisis de las políticas de los sectores Agricultura y Uso del Suelo y Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura (USCUSS) para mitigar el cambio climático en la primera Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) del Ecuador y propuestas de mejora*.
- Cárdenas, G., & Sánchez, I. (2013). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. *Año*, 15(1), 72–88.
- Caríssimo, M. S., V.del Cero, P., Fonalleras, M. del C., Silva, P. M., & L.Giordano, M. I. (2012). *Ecosistemas Acuáticos*.
- Chaguaro-Ramírez, J. P. (2018). *Incidencia de la contaminación del Río Guaranda en el Derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado de los habitantes del barrio Marco Pambaen el año 2016*. Universidad Central del Ecuador .
- COA. (2017). *Codigo organico del ambiente*. www.lexis.com.ec
- Constitución de la república del Ecuador. (2008). *Constitución de la república del Ecuador 2008 Decreto Legislativo 0 Registro Oficial*. www.lexis.com.ec
- Ebures. (2006). *Folleto Informativo Amonio*.
- Echeverría, C., Kitzberger, T., Rivera, R., Manson, R., Vaca, R., Cristóbal, L., Machuca, G., González, D., & Fuentes, R. (2011). Evaluación de la fragmentación y degradación de los ecosistemas forestales en zonas secas. *Principios y Práctica de La Restauración Del Paisaje Forestal: Estudios de Caso En Las Zonas Secas de América Latina* editado. 65-103.
- Escandón, & Cáceres. (2022). *Análisis de la calidad del agua mediante parámetros físicos químicos y macroinvertebrados bentónicos, presentes en la microcuenca del río San Francisco-Quito*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.

- Eskelner, M., Bakers, M., & Lanslor, T. (2013). *Historia de la agricultura*. Cambridge Stanford Books.
- FAO. (2020). *Agua y Cultivos*. <https://www.fao.org/3/Y3918S/y3918s03.htm>
- Faustino, J., & Jiménez, O. F. (2000). *Manejo de cuencas hidrográficas*.
- Fernández, A. M. (2014). *Evaluación de la conectividad estructural y funcional, bajo la implementación de escenarios de reforestación en el corredor Podocarpus-Yacuambi, Ecuador*.
- Flachier, A. (2016). *Análisis de metodologías para el estudio de Caudales Ecológicos. Casos de estudio en ríos altoandinos ecuatorianos*. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales .
- Gamboa, J. (2012). GeoProcesamiento. *Universidad Para La Cooperación Interna*.
- Gómez, Domínguez, E., Rodrigues, A., & Fernández, R. (2020). *Los indicadores biológicos*.
- Gómez, R. (2003). *Modelos conceptuales de funcionamiento de ríos y arroyos*.
- Gómez Vargas, E., Obregón Neira, N., & Rocha Arango, D. F. (2013). Métodos de segmentación de nubes en imágenes satelitales. *Tecnura*, 17(36), 96–110.
- González, H., Crespo, E., Acosta, R., & Hampel, H. (2019). *Guía rápida para la identificación de macroinvertebrados de los ríos altoandinos*.
- Greenpeace. (2022). *¿Qué son los nitratos? - ES | Greenpeace España*. <https://es.greenpeace.org/es/en-profundidad/un-agua-de-mierda-el-legado-de-las-macrogranjas/que-son-los-nitratos/>
- Grijalva-Endara, A. de las M., Jiménez-Heinert, M. E., & Ponce-Solórzano, H. X. (2020). Contaminación del agua y aire por agentes químicos. *RECIMUNDO*, 4(4), 79–93. [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(4\).octubre.2020.79-93](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(4).octubre.2020.79-93)
- Guadarrama-Tejas, R., Kido-Miranda, J., Roldam-Antunez, G., & Salas-Salgado, M. (2016). *Contaminación del agua*. 2, 1–10. www.ecorfan.org/spain
- Gualdrón, L. (2016). *"Evaluación de la calidad de agua de los ríos de Colombia usando parámetros físicoquímicos y biológicos "*.
- Guerrero, M. (2010). *El agua*. FCE - Fondo de Cultura Económica.
- Guillen, J., Jaramillo, A., Baquerizo, R., & Córdova, R. (2021). *Estudio de los procesos de remoción de hierro y manganeso en aguas subterráneas: una revisión*. 6(9), 1384–1407.
- HACH. (2000). *Manual de análisis de agua. Segunda edición en español*. <http://www.hach.com>
- Hofstede, Robert., Segarra, Pool., Mena V., Patricio., & Proyecto Atlas Mundial de los Páramos. (2003). *Los páramos del mundo*. UICN.
- IDEAM. (2007). *Demanda química de oxígeno por refluo cerrado y volumetría*.
- INEN 2169. (2013). *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras*.
- Jacobsen, D. (1998). El efecto de la contaminación orgánica en la fauna de macroinvertebrados de los arroyos del altiplano ecuatoriano. *Archiv Fur Hydrobiologie*, 143(2), 179–195. <https://doi.org/10.1127/archiv-hydrobiol/143/1998/179>

- Janampa, T. S., & Ponce, C. J. (2022). *Análisis multitemporal de la deforestación por imágenes satelitales en el distrito de Pangoa, Junín desde el año 2000 al 2020*.
- Jerves-Cobo, R., Everaert, G., Iñiguez-Vela, X., Córdova-Vela, G., Díaz-Granda, C., Cisneros, F., Nopens, I., & Goethals, P. L. M. (2017). Una metodología para modelar las preferencias ambientales de los taxones del EPT en la cuenca del río Machángara(Ecuador). *Water (Switzerland)*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/w9030195>
- Karaman, S. (1935). *Die Fauna unterirdischen Gewässer Jugoslawiens*.
- Labrador, J. (2008). Manejo del suelo en los sistemas agrícolas de producción ecológica. *SEAE-Sociedad Española de Agricultura Ecológica*, 1–47.
- Laughinghouse, H., Smyth, A., Havens, K., & Frazer, T. (2022). Repensando el papel del nitrógeno y fósforo en la eutrofización de los ecosistemas acuáticos. *EDIS*, 2022(2). <https://doi.org/10.32473/edis-sg191-2022>
- León, C., Cabildo, M., & Vallespi.Teresa. (2013). *Ecología I: introducción. Organismos y poblaciones*. Editorial UNED.
- Leonard, A., & Conrad, A. (2018). *La historia de las Cosas: De cómo nuestra obsesión por las cosas está destruyendo el planeta, nuestras comunidades y nuestra salud. Y una visión del cambio*. Fondo de cultura económica.
- Llopis, J. P. (2010). *Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio*. Editorial Club Universitario.
- LOOTUGS. (2016). *Ley orgánica de ordenamiento territorial, uso y gestión de suelo*.
- Loya, A., & Quillupangui, E. (2021). *Universidad central del Ecuador facultad de filosofía, letras y ciencias de la educación*.
- Márquez, G. (1850). De la abundancia a la escasez. *La Transformación de Los Ecosistemas En Colombia. In 'Naturaleza En Disputa. Ensayos de Historia Ambiental En Colombia, 1995*, 321–454.
- Mary, E. (2016). *Así es la biología*. Debate.
- MEAA. (2008). *Manual de Estadísticas Ambientales Andinas*. www.comunidadandina.org
- Mendoza, G., Ha, M.-L., Young, K. R., Rose, J. B., George, G., Sancho Marco, T. A., Simón Grimaldos, Á., Ardiles, L., Maestu, J., & Matthews, J. H. (2015). *Agua y desarrollo sostenible*. www.intercomstrategys.com
- Mendoza, & Hernández, H. R. (2011). Los sistemas de información geográfica. *Técnicas de Muestreo Para Manejadores de Recursos Naturales*, 641.
- Menéndez, A. (2010). *Transporte de Contaminantes en Medio Acuático*. <https://es.scribd.com/document/325670606/Transporte-de-contaminantes-en-medio-acuatico-Angel-Menendez-2010-pdf>
- Meneses-Campo, Y., Castro-Rebolledo, M. I., & Jaramillo-Londoño, A. M. (2019a). Comparación de la calidad del agua en dos ríos altoandinos mediante el uso de los índices BMWP/COL. *Acta Biologica Colombiana*, 24(2), 299–310. <https://doi.org/10.15446/abc.v24n2.70716>

- Meneses-Campo, Y., Castro-Rebolledo, M. I., & Jaramillo-Londoño, A. M. (2019b). Comparación de la calidad del agua en dos ríos altoandinos mediante el uso del índices BMWP/COL Y ABL. *Acta Biologica Colombiana*, 24(2), 299–310. <https://doi.org/10.15446/abc.v24n2.70716>
- Mestanza, M. M. M. (2014). *Manejo sostenible de los bosques como estrategia de mitigación del cambio climático*.
- Milly, P. C. D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R. M., Kundzewicz, Z. W., Lettenmaier, D. P., & Stouffer, R. J. (2008). Climate change: Stationarity is dead: Whither water management? In *Science* (Vol. 319, Issue 5863, pp. 573–574). <https://doi.org/10.1126/science.1151915>
- NASA. (2018). *Landsat 7 | Landsat Science*. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-7/>
- Nebel, B. J., & Wright, R. T. (1999). *Ciencias ambientales: ecología y desarrollo sostenible*. Pearson educación.
- Ochoa, M., & Riera, E. (2011). *Estudio arqueológico en las cuencas media y bajas del río Machangara*.
- Ojeda, A. O. (2007). *Territorio fluvial: diagnóstico y propuesta para la gestión ambiental y de riesgos en el Ebro y los cursos bajos de sus afluentes* (Vol. 17). Fundación Nueva Cultura del Agua.
- ONU. (2015). *Agua y desarrollo sostenible | Decenio Internacional para la Acción “El agua, fuente de vida” 2005-2015*. https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_and_sustainable_development.shtml
- Osorio, M., Carrillo, W., Negrete, J., Loor, X., & Riera, E. (2021). *La calidad de las aguas residuales domésticas*. 6, 228–245. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2360>
- Pabón, E. (2022). *Análisis de los procesos de cambio de uso y cobertura del suelo en la microcuenca del río Tabacay*. Universidad Andina Simón Bolívar .
- Palacios, Í. del C., & Moreno, D. W. (2022). Contaminación ambiental. *Revista Científica Mundo de La Investigación y El Conocimiento* , 6, 93–103. [https://doi.org/10.26820/recimundo/6.\(2\).abr.2022.93-103](https://doi.org/10.26820/recimundo/6.(2).abr.2022.93-103)
- Pineda. (2011). Análisis de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el Municipio de Valle de Santiago. In 2011.
- Pinos-Arévalo, N. (2016). Prospectiva del uso de suelo y cobertura vegetal en el ordenamiento territorial- caso cantón Cuenca. *Estoa*, 005(009), 7–19. <https://doi.org/10.18537/est.v005.n009.02>
- Pipitone, U. (2020). *La salida del atraso: Un estudio histórico comparativo*. Fondo de cultura económica.
- Ponvert-Delisle, D. R., & Lau, A. (2023). La teledetección en el ciclo de reducción de los desastres naturales en la agricultura. *Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología Para El Desarrollo. La Habana, Cuba*, 29.
- Quilumbaqui, C. (2017). *Determinación de la concentración de elementos mayores a dieciocho ríos de la provincia de Pinchincha, Ecuador*. Universidad San Francisco de Quito .

- Ramos, A. (2015). *Evaluación de la calidad del agua en la quebrada Huarmiyacu del cantón Urcuquí, provincia de Imbabura para el prediseño de la planta de potabilización de agua para consumo humano de las poblaciones de San Blas y Urcuquí*.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/9219/3/CD-6112.pdf>
- Rasines, R. (2017a). *La ecología de la zona hiporreica asociada a los ríos Henares y Tajuña (cuenca hidrográfica del Jarama, España)*.
- Rasines, R. (2017b). *TESIS DOCTORAL La ecología de la zona hiporreica asociada a los ríos Henares y Tajuña (cuenca hidrográfica del Jarama, España)*. Universidad Rey Juan Carlos .
- Rodríguez, & Villar, E. M. (1993). *Fertilidad del suelo y parámetros que la definen*. Universidad de la Rioja.
- Roldán, Gabriel. (1996). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Fondo para la Protección del Medio Ambiente “José Celestino Mutis.”
- Romero, J. A. (2002). Calidad del Agua. Primera Edición, 2002. *Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería*, 67, 69–70.
- Sánchez, M., & García, D. (2018). *Determinación del índice BMWP/Col, mediante la utilización de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad de agua, en el cauce del río Guachicos, que surte el acueducto del municipio de Pitalito*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD .
- Sánchez, V. (2011). *Guía técnica-didáctica para la aplicación de principios de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos*.
- Sarabia, J. F., & Rucabado, T. (2016). Pasado, presente y futuro del acebuche en la sierra de Grazalema. *Las Leguminosas*, 21, 685.
- Saravanakumar, K., De Silva, S., Santosh, S. S., Sathiyaseelan, A., Ganeshalingam, A., Jamla, M., Sankaranarayanan, A., Veeraraghavan, V. P., MubarakAli, D., Lee, J., Thiripuranathar, G., & Wang, M. H. (2022). Impact of industrial effluents on the environment and human health and their remediation using MOFs-based hybrid membrane filtration techniques. *Chemosphere*, 307, 135593. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.135593>
- Siebert, S., Kummu, M., Porkka, M., Döll, P., Ramankutty, N., Scanlon, B. R., Siebert, S., & Kummu, M. (2005). *A global dataset of the extent of irrigated land from 1900 to 2005*. <https://doi.org/10.13019/M20599>
- Sobrino, J. A. (2001). *Teledetección*. Universitat de València.
- Solís-Castro, Y., Zúñiga-Zúñiga, L. A., & Mora-Alvarado, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 31(1), 35. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3495>
- Soria, I. (2016). *Evaluación de la calidad ecológica del río Jatunhuayco en la zona asociada a la captación Jatunhuayco (EPMAPS) utilizando comunidades de macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua*. Escuela Politécnica Nacional .
- Suarez-Murillo, Á. D. (2020). *Contaminación ambiental del agua por el uso indebido de pesticidas agrícolas en plantaciones de banano en el Ecuador*.
- Swistock, B. (2023). *Nitratos en el Agua Potable*.

- Torres, G., & Urgilez, A. (2013). *Análisis de la variación vertical de temperatura en el sistema agua superficial-agua subterránea en el río Cumbe*. Universidad de Cuenca .
- Trenberth, K. E., Dai, A., Van Der Schrier, G., Jones, P. D., Barichivich, J., Briffa, K. R., & Sheffield, J. (2014). Global warming and changes in drought. In *Nature Climate Change* (Vol. 4, Issue 1, pp. 17–22). <https://doi.org/10.1038/nclimate2067>
- TULSMA. (2015). *REGISTRO OFICIAL 387*.
- Valdés, T. V., & Cano-Santana, Z. (2005). *Ecología y medio ambiente*. Pearson Educación.
- Valencia, C. (2011). *Química del hierro y manganeso en el agua, métodos de remoción*. Universidad de Cuenca .
- Vargas, R., GARDI, C., ANGELINI, M., BARCELÓ, S., COMERMA, J., CRUZ GAISTARDO, C., ENCINA ROJAS, A., JONES, A., KRASILNIKOV, P., & MENDONÇA SANTOS BREFIN, M. L. (2014). *Atlas de suelos de américa latina y el caribe*. Luxembourg: Comisión Europea, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea
- Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., Ortiz, L., & Araque, M. (2019). *Cuencas Hidrográficas* (1st ed., Vol. 1).
- Vázquez, E., & Rojas, T. (2003). *Sistema de Información del Medio Ambiente*. <http://institucional.ideam.gov.co/descargas?com=institucional&name=pubFile814&downloadname=>
- Vázquez, E., & Rojas, T. (2016). *pH: Teoría y 232 problemas* (UAM, Vol. 1).
- Velasco Velasco, I. (2012). *Sequía y cambio climático en México*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Villalta, D., & Yumbay, P. (2020a). *Determinación de la influencia del cambio de uso de suelo en la calidad ambiental de las zonas alta, media y baja en las microcuencas de los ríos Guallicanga y San Antonio del cantón Cañar y el Tambo, 1990-2018*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca .
- Villalta, & Yumbay. (2020b). *Determinación de la influencia del cambio de uso de suelo en la calidad ambiental de las zonas altas, media y baja en las microcuencas de los ríos Guallicanga y San Antonio de cantón Cañar y Tambo, 1990-2018*.
- Villamarín, C., Prat, N., & Rieradevall, M. (2014). Caracterización física, química e hidromorfológica de los ríos altoandinos tropicales de Ecuador y Perú. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 42(5), 1072–1086. <https://doi.org/10.3856/vol42-issue5-fulltext-12>
- Vinuesa, P. (2016). *Tema 8-Correlación: teoría y práctica*. <http://www.ccg.unam.mx/~vinuesa/>
- Vitoria, I., Maraver, F., Sánchez-Valverde, F., & Armijo, F. (2015). Nitrate concentrations in tap water in Spain. *Gaceta Sanitaria*, 29(3), 217–220. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2014.12.007>
- Wohl, L. H. (2006). *Posibles Efectos en la Salud Relacionados con Nitratos y Nitritos en Agua de Pozos Privados*.
- World Resources. (2005). *Data Tables*.

Worm, B., Barbier, E. B., Beaumont, N., Duffy, J. E., Folke, C., Halpern, B. S., Jackson, J. B. C., Lotze, H. K., Micheli, F., Palumbi, S. R., Sala, E., Selkoe, K. A., Stachowicz, J. J., & Watson, R. (2006). Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science*, 314(5800), 787–790. <https://doi.org/10.1126/science.1132294>

WSDH. (2016). *Nitratos en el agua potable*.
<http://www.doh.wa.gov/CommunityandEnvironment/DrinkingWater.aspx>

Yáñez, S. (2018). *Evaluación de la contaminación del agua mediante parámetros físicos químicos en las desembocaduras de los principales afluentes y efluente del lago San Pablo, Provincia de Imbabura (Año, 2017)*.

ANEXOS

Anexo 1 Imágenes de los lugares de estudio en la cuenca del Machángara

LA UNIÓN



Figura 20. Imagen del punto de La Unión

SAYMIRIN



Figura 21. Imagen del punto de Saymirín

LAS TRUCHAS



Figura 22. Imagen del punto de Las Truchas

OCHOA LEÓN



Figura 23. Imagen del punto de Ochoa León

GRAIMAN



Figura 24. Imagen del punto de Graiman

Anexo 2. Fotografías de las herramientas utilizadas

Multiparamétrico



Figura 25. Imagen del multiparamétrico utilizado para el estudio in-situ

Shaker



Figura 26. Imagen del shaker utilizado en el laboratorio

Muestras de macroinvertebrados



Figura 27. Imagen de las muestras de macroinvertebrados encontrados

Frascos



Figura 28. Imagen de los frascos utilizados para envasar los macroinvertebrados

Cooler



Figura 29. Imagen de las botellas con las muestras dentro del cooler

Laboratorio



Figura 30. Imagen del laboratorio con las herramientas utilizadas para la clasificación de los macroinvertebrados

Anexo 3 Número de macroinvertebrados bentónicos encontrados en el mes de Abril en los cinco puntos de monitoreo

MUESTRA 1 (ABRIL)						
Taxonomía		La Unión	Saymirín	Las truchas	Ochoa León	Graiman
Clase	Oligochaeta	10		4	13	21
	Hyalellidae	1				
Familia	Elmidae	1	1	1	1	
	Tipulidae	1			5	
	Hidrobiosidae	1	1			
	Ceratopogonidae		1			
	Hydrobiosidae		2			
	Hydroptilidae		3	1	5	1
	Ptilodactylidae		1			
	Lymnaeidae				1	
	Physidae				2	
	DugesIIDae			1	2	1
	Dytiscidae				1	

	Limoniidae			1	9	
	Baetidae		1		17	
	Leptophlebiidae				4	
TOTAL		14	10	8	60	23

Anexo 4. Número de macroinvertebrados bentónicos encontrados en el mes de Mayo en los cinco puntos de monitoreo

MUESTRA 2 (MAYO)						
Taxonomía		La Unión	Saymirín	Las truchas	Ochoa León	Graiman
Clase	Oligochaeta	-	-	5	4	12
Orden	Trombidiformes	-	21	11	5	-
Familia	Hyaellidae	6	-	-	-	-
	Elmidae	36	1	4	3	4
	Tipulidae	-	-	3	6	-
	Hidrobiosidae	6	10	3	5	-
	Ceratopogonidae	4	-	2	-	-
	Hydroptilidae	3	15	1	2	
	Physidae	-	-	-	1	1
	Dugesidae	2	-	-	-	1
	Dytiscidae	-	-	-	-	-
	Glossiphoniidae	2	-	1	-	-
	Hidraenidae	1	-	-	-	-
	Limoniidae	8	-	-	-	1
	Baetidae	-	8	62	106	5
	Naucoridae	-	-	1	-	-
	Leptophlebiidae	-	2	-	-	-
Chironomidae	-	-	-	-	1	
TOTAL		68	57	93	132	25

Anexo 5 Numero de macroinvertebrados encontrados en el mes de Junio en los puntos de monitoreo

MUESTRA 3 (JUNIO)						
Taxonomía		La Unión	Saymirín	Las truchas	Ochoa León	Graiman
Clase	Oligochaeta	41		6	16	1
Orden	Trombidiformes	8		10		
Familia	Hyalellidae	1				
	Elmidae	2		1		
	Tipulidae		3	1		
	Hidrobiosidae				5	3
	Hydroptilidae		5	3		
	Dugesiidae	7				
	Glossiphoniidae					1
	Baetidae		54	60	42	45
	Gordiidae		1			
	Leptophlebiidae				60	10
	Chironomidae	3	5			
	Simuliidae	1	2	6	3	
	Scirtidae	1				
	Polycentropodidae			4		
TOTAL		67	76	91	138	65

Anexo 6. Número de macroinvertebrados encontrados en el mes de Julio en los puntos de monitoreo

MUESTRA 4 (JULIO)						
Taxonomía		La Unión	Saymirín	Las truchas	Ochoa León	Graiman
Clase	Oligochaeta	52		7	2	7
Orden	Trombidiformes	6	9	16		
Familia	Elmidae	4		1		
	Tipulidae	1	1			

	Ceratopogonidae	1				
	Hydrobiosidae			2		
	Hydroptilidae	22	21			
	Dugesiidae	1				4
	Limoniidae	5		3		2
	Baetidae		16	30	83	11
	Leptophlebiidae		6	14	14	8
	Chironomidae	2	2	7	5	6
	Simuliidae	1	3	2	3	
	Polycentropodidae		3	4	2	3
	Leptoceridae	1				
	TOTAL	96	61	86	109	41

Anexo 7. Fotografías de los macroinvertebrados con su respectiva clasificación por familia



Figura 31. Imagen del macroinvertebrado perteneciente a la familia Calamoceratidae



Figura 32. Imagen del macroinvertebrado perteneciente a la familia Dugesiidae



Figura 33. Imagen del macroinvertebrado perteneciente a la familia Arachnida



Figura 34. Imagen del macroinvertebrado perteneciente a la familia Hydroptilidae



Figura 35. Imagen del macroinvertebrado perteneciente a la familia Baetidae



Figura 36. Imagen del macroinvertebrado perteneciente a la familia Limoniidae



Figura 37. Imagen del macroinvertebrado perteneciente a la familia Physidae

Anexo 8. Uso del suelo en el año 2023 en cada punto de monitoreo

USO DEL SUELO EN EL AÑO 2023					
<i>Sitios De Estudio</i>	<i>Unión</i>	<i>Saymirín</i>	<i>Las Truchas</i>	<i>Ochoa León</i>	<i>Graiman</i>
Área Poblada	-	-	2,784492	30,217266	38,431115
Área Sin Cobertura Vegetal	-	-	-	-	-
Bosque Nativo	4,874367	1,845141	-	-	-
Infraestructura	-	-	-	1,35	-
Bosque Natural	-	-	-	-	-
Páramo	-	-	-	-	-
Plantación Forestal	0,99	3,33	-	2,32671	15,099839
Tierra Agropecuaria	66,890749	49,906756	70,98563	44,645678	15,384891
Vegetación Arbustiva y Herbácea	5,78444	23,457759	4,76953	-	-

Anexo 9. Marco legal de la Constitución del Ecuador y el COA

MARCO LEGAL
Constitución de la República del Ecuador 2008
<p>“Capítulo II: Derechos del Buen Vivir”</p> <p>“Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, <i>sumak kawsay</i>. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados” (Constitución de la república del Ecuador, 2008).</p>
<p>“Capítulo VII: Derechos de la naturaleza”</p> <p>“Art 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, función y procesos evolutivos” (Constitución de la república del Ecuador, 2008).</p> <p>“Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda” (Constitución de la república del Ecuador, 2008).</p> <p>“El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema” (Constitución de la república del Ecuador, 2008).</p>
Título VII: Del Régimen del Buen Vivir
“Capítulo II: Biodiversidad y Recursos Naturales”

“Art. 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales”: “1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras” (Constitución de la república del Ecuador, 2008).

“2. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional” (Constitución de la república del Ecuador, 2008).

“3. El Estado garantizará la participación y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución y control de toda actividad que genere impactos ambientales” (Constitución de la república del Ecuador, 2008).

“4. En caso de duda sobre el alcance de las disposiciones legales en materia ambiental, éstas se aplicarán en el sentido más favorable a la protección de la naturaleza (Constitución de la república del Ecuador, 2008).

“Art. 396.- El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas” (Constitución de la república del Ecuador, 2008).

“La responsabilidad por daños ambientales es objetiva, todo daño al ambiente, además de las sanciones correspondientes, implicará también la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas e indemnizar a las personas y comunidades afectadas. Cada uno de los actores de los procesos de producción, distribución, comercialización y uso de bienes o servicios asumirá la responsabilidad directa de prevenir cualquier impacto ambiental, de mitigar y reparar los daños que ha causado, y de mantener un sistema de control ambiental permanente. Las acciones legales para perseguir y sancionar por daños ambientales serán imprescriptibles” (Constitución de la república del Ecuador, 2008).

“Art. 397.- En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca. La responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental. Para garantizar el derecho individual y colectivo a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, el Estado se compromete a” (Constitución de la república del Ecuador, 2008).

“1. Permitir a cualquier persona natural o jurídica, colectividad o grupo humano, ejercer las acciones legales y acudir a los órganos judiciales y administrativos, sin perjuicio de su interés directo, para obtener de ellos la tutela efectiva en materia ambiental, incluyendo la posibilidad de solicitar medidas cautelares que permitan cesar la amenaza o el daño ambiental materia de litigio. La carga de la prueba sobre la inexistencia de daño potencial o real recaerá sobre el gestor de la actividad o el demandado” (Constitución de la república del Ecuador, 2008).

“2. Establecer mecanismos efectivos de prevención y control de la contaminación ambiental, de recuperación de espacios naturales degradados y de manejo sustentable de los recursos naturales” (Constitución de la república del Ecuador, 2008).

<p>“3. Regular la producción, importación, distribución, uso y disposición final de materiales tóxicos y peligrosos para las personas o el ambiente” (Constitución de la república del Ecuador, 2008).</p> <p>“4. Asegurar la intangibilidad de las áreas naturales protegidas, de tal forma que se garantice la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas de los ecosistemas. El manejo y administración de las áreas naturales protegidas estará a cargo del Estado” (Constitución de la república del Ecuador, 2008).</p> <p>“5. Establecer un sistema nacional de prevención, gestión de riesgos y desastres naturales, basado en los principios de inmediatez, eficiencia, precaución, responsabilidad y solidaridad” (Constitución de la república del Ecuador, 2008)</p>
<p>“Sección Sexta: Agua”</p> <p>“Art 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua” (Constitución de la república del Ecuador, 2008).</p> <p>“La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua” (Constitución de la república del Ecuador, 2008).</p>
<p>CÓDIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE (COA)</p>
<p>“TITULO VI: REGIMEN FORESTAL NACIONAL”</p> <p>“CAPITULO IPATRIMONIO FORESTAL NACIONAL”</p> <p>“Art. 88.- Ámbito. Se instituye el Régimen Forestal Nacional como un sistema destinado a promoverla conservación, manejo, uso sostenible y fomento del Patrimonio Forestal Nacional, así como sus interacciones ecosistémicas, en un marco de amplia participación social y contribución eficaz al desarrollo sostenible, especialmente en el ámbito rural”(COA, 2017).</p>
<p>“CAPITULO VIII: OTROS INSTRUMENTOS DE GESTION Y CONTROL”</p> <p>“Art. 130.- Certificación forestal voluntaria. El Régimen Forestal Nacional promoverá la certificación forestal voluntaria, a través de sistemas reconocidos nacional o internacionalmente, como un mecanismo para garantizar la sostenibilidad ambiental, social y económica de las operaciones forestales, según los estándares más exigentes” (COA, 2017).</p> <p>“Art. 132.- Genética forestal. El establecimiento de bancos de germoplasma forestal, huertos semilleros, jardines botánicos y viveros forestales, así como la adquisición, importación, almacenamiento y tratamiento de semillas forestales y cualquier otro tipo de material genético, están sujetos a los controles que determinen las autoridades competentes” (COA, 2017).</p> <p>“Art. 134.- Procesamiento y comercialización. La Autoridad Ambiental Nacional, la Autoridad Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca y la Autoridad Nacional de Industrias y Productividad deberán regular, fomentar y controlar los planes o programas específicos para la optimización del procesamiento de la madera o de los productos forestales, con el objeto de minimizar el desperdicio y maximizar la calidad; por lo que cooperarán eficazmente con los productores, en la identificación de nichos de mercado más favorables para los diversos productos. Se incentivará el desarrollo y la adquisición de maquinaria y equipos que cumplan con los fines del</p>

presente artículo, los cuales formarán parte de los beneficios a la producción más limpia, de conformidad con la ley” (COA, 2017).

“Art. 136.- Plagas y enfermedades. Las entidades y organismos del Régimen Forestal Nacional, en coordinación con las entidades competentes, ejecutarán medidas fitosanitarias, actividades de prevención, detección, monitoreo, control y erradicación de plagas y enfermedades forestales” (COA, 2017).

“LIBRO TERCERO: DE LA CALIDAD AMBIENTAL”

“TITULO I: DISPOSICIONES GENERALES”

“Art. 158.- Ámbito. El presente libro regula los instrumentos, procedimientos, mecanismos, actividades, responsabilidades y obligaciones públicas y privadas en materia de calidad ambiental” (COA, 2017).

“Art. 159.- Carácter sistémico de las normas ambientales. Las normas ambientales serán sistémicas y deberán tomar en consideración las características de cada actividad y los impactos que ellas generan. El diseño, la elaboración y la aplicación de las normas ambientales deberán garantizar la calidad de los componentes físicos del ambiente, con el propósito de asegurar el buen vivir y los derechos de la naturaleza” (COA, 2017).

“CAPITULO IV: DE LOS INSTRUMENTOS PARA LA REGULARIZACION AMBIENTAL”

“Art. 177.- De la información de los proyectos, obras o actividades que puedan afectar al ambiente. La autorización administrativa emitida por la Autoridad Ambiental Competente deberá incorporarse inmediatamente al Sistema Único de Información Ambiental. Las autorizaciones emitidas por la Autoridad Ambiental Nacional son de acceso público, de conformidad con la ley” (COA, 2017).

“Art. 178.- De las guías de buenas prácticas ambientales. Los operadores de actividades cuyo impacto no es significativo, no tendrán obligación de regularizarse. En este caso, la Autoridad Ambiental Nacional dictará guías de buenas prácticas. Los operadores de proyectos, obras o actividades de impacto ambiental bajo, para su regularización ambiental, requerirán de un plan de manejo ambiental específico para estas actividades, de conformidad con la normativa secundaria que se expida para el efecto” (COA, 2017).

“Art. 179.- De los estudios de impacto ambiental. Los estudios de impacto ambiental deberán ser elaborados en aquellos proyectos, obras y actividades que causan mediano y alto impacto o riesgo ambiental para una adecuada y fundamentada evaluación, predicción, identificación e interpretación de dichos riesgos e impactos. Los estudios deberán contener la descripción de la actividad, obra o proyecto, área geográfica, compatibilidad con los usos de suelo próximos, ciclo de vida del proyecto, metodología, herramientas de análisis, plan de manejo ambiental, mecanismos de socialización y participación ciudadana, y demás aspectos previstos en la norma técnica. En los casos en que la Autoridad Ambiental Competente determine que el estudio de impacto ambiental no satisface los requerimientos mínimos previstos en este Código, procederá a observarlo improbarlo y comunicará esta decisión al operador mediante la resolución motivada correspondiente” (COA, 2017).

“Art. 180.- Responsables de los estudios, planes de manejo y auditorías ambientales. La persona natural o jurídica que desea llevar a cabo una actividad, obra o proyecto, así como la que elabora

el estudio de impacto, plan de manejo ambiental o la auditoría ambiental de dicha actividad, serán solidariamente responsables por la veracidad y exactitud de sus contenidos, y responderán de conformidad con la ley” (COA, 2017).

“Art. 181.- De los planes de manejo ambiental. El plan de manejo ambiental será el instrumento de cumplimiento obligatorio para el operador, el mismo que comprende varios sub-planes, en función de las características del proyecto, obra o actividad. La finalidad del plan de manejo será establecer en detalle y orden cronológico, las acciones cuya ejecución se requiera para prevenir, evitar, controlar, mitigar, corregir, compensar, restaurar y reparar, según corresponda. Además, contendrá los programas, presupuestos, personas responsables de la ejecución, medios de verificación, cronograma y otros que determine la normativa secundaria” (COA, 2017).

“CAPITULO V: CALIDAD DE LOS COMPONENTES ABIOTICOS Y ESTADO DE LOS COMPONENTES BIOTICOS”

“Art. 190.- De la calidad ambiental para el funcionamiento de los ecosistemas. Las actividades que causen riesgos o impactos ambientales en el territorio nacional deberán velar por la protección, conservación de los ecosistemas y sus componentes bióticos y abióticos, de tal manera que estos impactos no afecten a las dinámicas de las poblaciones y la regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos, o que impida su restauración” (COA, 2017).

“Art. 191.- Del monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo. La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, en coordinación con las demás autoridades competentes, según corresponda, realizarán el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, agua y suelo, de conformidad con las normas reglamentarias y técnicas que se expidan para el efecto. Se dictarán y actualizarán periódicamente las normas técnicas, de conformidad con las reglas establecidas en este Código. Las instituciones competentes en la materia promoverán y fomentarán la generación de la información, así como la investigación sobre la contaminación atmosférica, a los cuerpos hídricos y al suelo, con el fin de determinar sus causas, efectos y alternativas para su reducción” (COA, 2017).

“Art. 192.- De la calidad visual. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados competentes controlarán que las obras civiles que se construyan en sus circunscripciones territoriales guarden armonía con los lugares donde se las construya en especial de los espacios públicos, con el fin de minimizar los impactos visuales o los impactos al paisaje, de conformidad con la normativa expedida para el efecto” (COA, 2017)s territoriales guarden armonía con los lugares donde se las construya en especial de los espacios públicos, con el fin de minimizar los impactos visuales o los impactos al paisaje, de conformidad con la normativa expedida para el efecto” (COA, 2017).

Anexo 10. Análisis físico-químico del agua en los cinco puntos de muestreo en los diferentes meses de monitoreo

Mes	Fecha	Lugar	Zona	Amonio NH4-N (ppm o mg/L)	Nitratos NO3 (ppm o mg/L)	Sulfatos SO4 (ppm o mg/L)	DQO (ppm o mg/L)	Fosfatos PO4 (ppm o mg/L)	Hierro Fe (ppm o mg/L)	Sólidos Suspendidos (ppm o mg/L)	
Abril	45043	UNION	R1	0	1,5	1	14	0,02	0,14	6	
			R2	0	1,4	2	14	0,03	0,17	7	
			PRO	0	1,45	1,5	14	0,025	0,155	6,5	
		SAYMIRIN	R1	0	0,2	11	0,06	0,06	0,45	20	
			R2	0	0,1	9	0,06	0,06	0,42	23	
			PRO	0	0,15	10	0,06	0,06	0,435	21,5	
		45041	TRUCHA	R1	0	4,1	10	-11	0,22	0,26	15
				R2	0	4,1	10	-11	0,22	0,26	15
				PRO	0	4,1	10	-11	0,22	0,26	15
	OCHOA LEON		R1	0,1	1,6	18	-13	0,19	0,29	13	
			R2	0,1	1,6	18	-13	0,19	0,29	5	
			PRO	0,1	1,6	18	-13	0,19	0,29	9	
	GRAIMAN		R1	-0,1	0,3	11	-13	0,62	0,02	6	
			R2	-0,1	0,3	11	-13	0,62	0,02	6	
			PRO	-0,1	0,3	11	-13	0,62	0,02	6	
Mayo	45063	TRUCHAS	R1	-20	1,9	6	36	0,05	0,17	12	
			R2	0	2,1	7	36	0,09	0,24	3	
			PRO	-10	2	6,5	36	0,07	0,205	7,5	
		OCHOA LEON	R1	0	1,7	6	34	0,07	0,21	2	
			R2	0	2,4	8	34	0,12	0,22	6	
			PRO	0	2,05	7	34	0,095	0,215	4	
		45065	UNION	R1	0,3	1,4	5	-4	0,14	0,18	18

			R2	0,3	1,5	6	-4	0,18	0,61	18	
			PRO	0,3	1,45	5,5	-4	0,16	0,395	18	
		SAYMIRIN	R1	0,4	1,1	22	-8	0,36	0,05	27	
			R2	0,4	1	21	-8	0,49	0,03	27	
			PRO	0,4	1,05	21,5	-8	0,425	0,04	27	
		GRAIMAN	R1	0,6	2,5	9	20	0,15	0,23	21	
			R2	0,6	2,6	5	20	0,03	0,21	21	
			PRO	0,6	2,55	7	20	0,09	0,22	21	
Junio	45091	OCHOA LEON	R1	1	2,7	8	-3,5	0,09	0,19	5	
			R2	1	2	7	-3,5	0,08	0,21	-4	
			PRO	1	2,35	7,5	-3,5	0,085	0,2	0,5	
		GRAIMAN	R1	1,2	2,1	7	-3,5	0,19	0,2	14	
			R2	1,2	2,7	5	-3,5	0,19	0,19	14	
			PRO	1,2	2,4	6	-3,5	0,19	0,195	14	
		45093	UNION	R1	0,1	1,4	6	53	0,04	0,22	3
				R2	0,1	1,9	7	53	0,05	0,16	6
				PRO	0,1	1,65	6,5	53	0,045	0,19	4,5
	SAYMIRIN		R1	-0,3	1,7	19	15	0,04	0,49	2	
			R2	-0,3	1,7	18	14	0,1	0,47	12	
			PRO	-0,3	1,7	18,5	14,5	0,07	0,48	7	
	TRUCHAS	R1	-0,4	2,2	8	23	0,03	0,26	1044		
		R2	-0,4	1,5	7	21	0,03	0,26	12		
		PRO	-0,4	1,85	7,5	22	0,03	0,26	12		
Julio	45111	GRAIMAN	R1	0,3	2,1	5	33	0,11	0,19	51,2	
			R2	0,3	1,9	6	35	0,16	0,2	64,9	
			PRO	0,3	2	5,5	34	0,135	0,195	58,05	
		OCHOA LEON	R1	0,2	-0,1	3	31	0,02	0,99	0,5	
			R2	0,2	-1,2	4	31	0,08	1	0,5	

		PRO	0,2	-0,65	3,5	31	0,05	0,995	0,5
45113	UNION	R1	-0,1	0,6	5	56	0,12	0,15	15
		R2	-0,1	1,2	2	57	0,21	0,17	7,8
		PRO	-0,1	0,9	3,5	56,5	0,165	0,16	11,4
	SAYMIRIN	R1	-0,3	2,6	23	55	0,12	0,4	8,8
		R2	-0,3	1,9	16	55	0,16	0,38	8,1
		PRO	-0,3	2,25	19,5	55	0,14	0,39	8,45
	TRUCHAS	R1	-0,3	2,4	8	54	0,1	0,14	25,8
		R2	-0,3	2	11	55	0,18	0,14	12,5
		PRO	-0,3	2,2	9,5	54,5	0,14	0,14	19,15

Anexo 11. Límites máximo permisible de la normativa del TULSMA

14 Miércoles 4 de noviembre de 2015 -- Edición Especial Nº 387 - Registro Oficial

TABLA 2: CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA Y SILVESTRE EN AGUAS DULCES, MARINAS Y DE ESTUARIOS:


PARÁMETROS	Expresados como	Unidad	Criterio de calidad	
			Agua dulce	Agua marina y de estuario
Aluminio ⁽¹⁾	Al	mg/l	0,1	1,5
Amoniaco Total ⁽²⁾	NH3	mg/l	-	0,4
Arsénico	As	mg/l	0,05	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1	1,5
Bifenilos Policlorados	Concentración de PCBs totales	µg/l	1,0	1,0
Boro	B	mg/l	0,75	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,001	0,005
Cianuros	CN	mg/l	0,01	0,01
Cinc	Zn	mg/l	0,03	0,015
Cloro residual total	Cl ₂	mg/l	0,01	0,01
Clorofenoles ⁽³⁾		mg/l	0,05	0,05
Cobalto	Co	mg/l	0,2	0,2
Cobre	Cu	mg/l	0,005	0,005
Cromo total	Cr	mg/l	0,032	0,05
Estaño	Sn	mg/l		2,00
Fenoles monohídricos	Expresado como fenoles	mg/l	0,001	0,001
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3	0,3
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,5	0,5
Hierro	Fe	mg/l	0,3	0,3
Manganeso	Mn	mg/l	0,1	0,1
Materia flotante de origen antrópico	visible		Ausencia	Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,0002	0,0001
Níquel	Ni	mg/l	0,025	0,1
Oxígeno Disuelto	OD	% de saturación	> 80	> 80
Piretróides	Concentración de piretróides totales	mg/l	0,05	0,05
Plaguicidas organoclorados totales	Organoclorados totales	µg/l	10,0	10,0
Plaguicidas organofosforados totales	Organofosforados totales	µg/l	10,0	10,0
Plata	Ag	mg/l	0,01	0,005
Plomo	Pb	mg/l	0,001	0,001
Potencial de Hidrógeno	pH	unidades de pH	6,5 – 9	6,5 – 9,5
Selenio	Se	mg/l	0,001	0,001
Tenocactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5	0,5
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,2	
Nitratos	NO ₃	mg/l	13	200
DOO	DOO	mg/l	40	-
DBO5	DBO ₅	mg/l	20	-
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	max incremento de 10% de la condición natural	-

⁽¹⁾ Aluminio: Si el pH es menor a 6,5 el criterio de calidad será 0,005 mg/l

⁽²⁾ Aplicar la Tabla 2a como criterio de calidad para agua dulce

⁽³⁾ Si sobrepasa el criterio de calidad se debe analizar el diclorofenol cuyo criterio de calidad es 0,2 µg/l

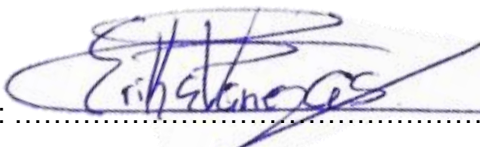
Documento con posibles errores digitalizado de la publicación original. Favor verificar con imagen.

 No imprima este documento a menos que sea absolutamente necesario.

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Erika Paulina Vanegas Argudo portadora de la cédula de ciudadanía N.º 0150380582. En calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Incidencia del cambio y uso del suelo en el ecotono hiporréico de la Cuenca Del Machángara: variables físico-químicas y macrobiota asociada (macroinvertebrados bentónicos)” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 20 de octubre de 2023



F:

Erika Paulina Vanegas Argudo

0150380582

www.ucacue.edu.ec