



Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Sede Ibarra

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES

INFORME FINAL DEL PROYECTO

TEMA:

“Evaluación toxicológica del río Tahuando”

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO AMBIENTAL

**LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: GESTIÓN SOSTENIBLE Y APROVECHAMIENTO
DE LOS RECURSOS NATURALES**

SUBLINEA: AMBIENTE Y BIODIVERSIDAD

AUTOR: DIEGO FRANCISCO VILLEGAS VÁSQUEZ

ASESOR: SANTIAGO XAVIER MAFLA ANDRADE

Ibarra, 25 de abril del 2023

Ibarra, 25 de abril de 2023

Santiago Xavier Mafla Andrade

ASESOR

CERTIFICA:

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



(f).....

Santiago Xavier Mafla Andrade

C.C.: 1002658399

PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

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



(f).....

Santiago Xavier Mafla Andrade

C.C.: 1002658399



(f).....

Moraima Cristina Mera Aguas

C.C.: 1001743721



(f).....

Paola Alexandra Chávez Guerrero

C.C.:

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

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

Ibarra, 25 de abril del 2023

A handwritten signature in blue ink, which appears to read "Francisco Villegas Vásquez", is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

f):

DIEGO FRANCISCO VILLEGAS VÁSQUEZ

C.C.: 1004551550

AUTORÍA

Yo, DIEGO FRANCISCO VILLEGAS VÁSQUEZ, portador de la cédula de ciudadanía N° 1004551550, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.

A handwritten signature in blue ink, reading "Francisco Villegas Vásquez", is enclosed within a yellow oval stamp. The signature is fluid and cursive.

f):

DIEGO FRANCISCO VILLEGAS VÁSQUEZ

C.C.: 1004551550

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, DIEGO FRANCISCO VILLEGAS VÁSQUEZ, con C.C.: 1004551550, autor del trabajo de grado intitulado: EVALUACIÓN TOXICOLÓGICA DEL RÍO TAHUNADO previo a la obtención del título profesional de Ingeniería Ambiental, en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales.

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

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

Ibarra, 25 de abril del 2023

f): 

DIEGO FRANCISCO VILLEGAS VÁSQUEZ

C.C.: 1004551550

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

Por medio de la presente declaro conocer y aplicar en la elaboración, desarrollo y evaluación de Proyecto de Titulación: EVALUACIÓN TOXICOLÓGICA DEL RÍO TAHUNADO, lo propuesto en el Código de Ética de la investigación y el aprendizaje de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, aprobado por el Consejo Superior de la PUCE con fecha 25 de abril del 2023

Para constancia firma:



f):

Diego Francisco Villegas Vásquez
Estudiante que ejecuta el trabajo de Titulación
C.C/ Pasaporte: 1004551550
Carrera: Ingeniería Ambiental

Ibarra, 25 de abril del 2023

DEDICATORIA

A las personas que son afectadas por la problemática ambiental que aborda esta tesis. Espero que sean lectores críticos y los resultados de este estudio contribuyan a la construcción de un futuro más sostenible y justo para todos.

También a aquellos amigos con quienes he compartido el laboratorio y las aulas; a todos quienes con su consejo me han guiado para culminar mis estudios.

A mis profesores, por su dedicación y enseñanzas valiosas que son parte de mi formación como profesional por su guía en este proceso de investigación y a todos quienes me han permitido entrar a sus aulas para compartir sus conocimientos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi universidad PUCE-SI, a mi director de tesis y a todos los docentes que conforman la ECAA por su orientación y apoyo constante en la elaboración de este trabajo. Su experiencia y conocimientos fueron fundamentales para el éxito de esta investigación.

A mi familia, por su amor, apoyo y comprensión durante todo este proceso. Su constante ánimo y palabras de aliento me motivaron a seguir adelante. Sin olvidar a mis mascotas.

Para todos aquellos que de alguna manera contribuyeron directa o indirectamente en la realización de esta investigación y que, aunque no los mencione explícitamente aquí, son igualmente importantes para el éxito.

ÍNDICE

DEDICATORIA	viii
AGRADECIMIENTO	ix
ÍNDICE	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN	16
ABSTRACT.....	17
CAPÍTULO I	18
INTRODUCCIÓN	18
CAPÍTULO II	19
OBJETIVOS	19
2.1. Objetivo general	19
2.2. Objetivos específicos	19
CAPÍTULO III.....	20
ESTADO DEL ARTE	20
3.1. Cuenca hidrográfica	20
3.1.1. Función dinámica	21
3.1.2. Formación de cuencas	22
3.2. Contaminación de cuencas.....	23
3.2.1. Aguas residuales	24
3.2.2. Contaminantes emergentes	25
3.2.3. Aceites y grasas	26
3.3. Bioensayos	26
3.3.1. Análisis de Toxicidad en sistemas de agua dulce.....	27
3.3.2. Ensayo con Lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L)	28
3.3.3. Ensayos microbiológicos Toxi-Chromo Test.....	30

CAPÍTULO IV	31
MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
4.1. Materiales.....	31
4.1.1. Materiales de laboratorio.....	31
4.1.2. Reactivos	31
4.1.3. Equipos	32
4.1.4. Software.....	32
4.2. Métodos.....	32
4.2.1. Área de estudio	33
4.2.2. Puntos de muestreo	33
4.2.3. Caracterización In Situ.....	36
4.2.4. Análisis de parámetros físico químicos	37
4.2.5. Aceites y grasas	38
4.2.6. Análisis Biológicos.....	39
4.2.6.1. Toxicidad en semillas de lechuga (<i>Lactuca sativa</i> . L.)	39
4.2.6.2. Análisis de coliformes	41
4.2.6.3. Toxicidad con microorganismos	42
CAPÍTULO V	45
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
5.1. Resultados	45
5.1.1. Parámetros	45
5.1.2. Parámetros físico-químicos	49
5.1.2.1. Determinación de Aceites Y Grasas.....	51
5.2. Análisis biológicos y toxicológicos	53
5.2.1. Bioensayo en Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>).....	53
5.2.2 Cultivo microbiológico.....	55
5.2.3. Pruebas de Toxi-ChromoTest.....	57
CAPÍTULO VI	60
CONCLUSIONES	60

CAPÍTULO VII.....	61
RECOMENDACIONES.....	61
CAPÍTULO VIII.....	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
ANEXOS	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Descripción botánica y experimental	28
Tabla 2: Puntos de Muestreo dentro de la cuenca del río Tahuando.	34
Tabla 3: Distancia entre puntos	36
Tabla 4: Valores de toxicidad del IGN e IER.....	41
Tabla 5: Parámetros in situ de las condiciones ambientales de los puntos de muestreo	45
Tabla 6: Medición de Oxígeno disuelto en el río Tahuando en los 7 puntos de muestreo ...	47
Tabla 7: pH y temperatura del agua del rio Tahuando en los puntos muestreo.....	49
Tabla 8: Concentración de aceites y grasas (A y G).....	51
Tabla 9: Análisis ANOVA sobre aceites y grasas en los 7 puntos de muestreo.....	52
Tabla 10: Promedio de elongación de la radícula.....	53
Tabla 11: Determinación del NMPC en los 7 puntos de muestreo.....	55
Tabla 12: Toxicidad sobre microorganismos presentes en el agua del rio Tahuando	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Morfología de la semilla	29
Figura 2: Puntos de muestreo y cuenca del río	35
Figura 3: Saturación de OD en el río Tahuando en los 7 puntos de muestreo.....	48
Figura 4: Datos de la conductividad eléctrica en los siete puntos del río Tahuando	50
Figura 5: Análisis de aceites y grasas en los 7 puntos de muestreo del río Tahuando	51
Figura 6: Lectura de absorbancia a los puntos de análisis del río Tahuando.....	57
Figura 7: Porcentaje de toxicidad sobre los puntos de análisis del río Tahuando	58

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Grupo de investigación	67
Anexo 2: Recolección de muestras Punto 1.....	67
Anexo 3: Recolección de muestras Punto 2.....	68
Anexo 4: Recolección de muestras Punto 3.....	68
Anexo 5: Recolección de muestras Punto 4.....	69
Anexo 6: Recolección de muestras Punto 5.....	69
Anexo 7: Recolección de muestras Punto 6.....	70
Anexo 8: Recolección de muestras Punto 7.....	70
Anexo 9: Práctica de crecimiento en semillas	71
Anexo 10: Extracción de aceites y grasas.....	71
Anexo 11: Análisis Toxi-ChromoTest.....	72
Anexo 12: Medida y conteo de semillas.....	72
Anexo 13: Análisis de laboratorio	73
Anexo 14: Evaluación Tukey referente a Aceites y Grasas.....	74
Anexo 15: Prueba Tukey referente a Oxígeno disuelto (OD)	75

RESUMEN

La ciudad de Ibarra se encuentra en la provincia de Imbabura, es característica por sus montañas y su clima apto para actividades agrícolas y turísticas. El presente estudio se realizó en el periodo de mayo - agosto 2023, dentro de la cuenca del río Tahuando tomando La Rinconada como primer punto y Los Cañaverales como el séptimo, los ensayos se realizan dentro de los laboratorios de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA) en el mes de julio de 2023. La investigación tuvo la finalidad de evaluar características físico químicas del agua, la concentración de aceites y grasas por el método APHA 5520 -B y análisis biológicos para la determinación de toxicidad en agua con lechuga (*Lactuca sativa* L.), coliformes y una prueba EBPI. Se determinó que los niveles de contaminación aumentan por factores meteorológicos y actividad antrópica; en el análisis de aceites y grasas se identificó que estos no superan los parámetros permisibles. Teniendo puntos máximos de 0.24 mg/L y 0.22 mg/L en el punto 6 y 7 respectivamente. La germinación de lechuga presenta un Índice de Elongación Normalizado con baja toxicidad en el punto 5. Sobre microbiota se identifica que las condiciones son potencialmente tóxicas en los puntos 2, 6 y 7 puntos con valores superiores a la Concentración Mínima Inhibitoria (MIC) del 20%, según el equipo Toxi-ChromoTest y espectrofotometría. Los niveles de pH por el método APHA 4500-H⁺ tienen tendencia a volverse básico (punto inicial 7.72 y punto final 8.14), la conductividad eléctrica aumenta drásticamente (punto inicial 137.6 μ S/cm y punto final 669 μ S/cm), el oxígeno disuelto presenta un valor máximo de 109.47 % y un mínimo de 91.27 %. Demostramos que la temperatura del agua aumenta de 9.6 a 14.4 °C. En este análisis se concluye que existen diferentes factores antrópicos o naturales que representan un riesgo para la microbiota y conservación del río Tahuando; los riegos agravan la crisis social de acceso al agua potable, cambio climático y gestión de residuos

Palabras clave: Toxicidad, Río Tahuando, Aceites y grasas, Microbiota, Contaminación,

ABSTRACT

Ibarra is located in the province of Imbabura and is known for its mountains and climate suitable for agricultural and tourist activities. The present study was conducted from May August 2023 within the Tahuando River basin, with La Rinconada as the starting point and Los Cañaverales as the seventh point. The experiments were carried out in the laboratories of the School of Agricultural and Environmental Sciences (ECAA) in July 2023. The research aimed to assess the physicochemical characteristics of the water, the concentration of oils and fats using the APHA 5520-B method, and biological analyses to determine toxicity in water using lettuce (*Lactuca sativa*. L.), coliforms, and an EBPI test.

It was determined that contamination levels increase due to meteorological factors and anthropogenic activity. In the analysis of oils and fats, it was identified that they do not exceed permissible parameters, with maximum levels of 0.24 mg/L and 0.22 mg/L at points 6 and 7, respectively. Lettuce germination exhibited a Normalized Elongation Index with low toxicity at point 5. Concerning the microbiota, it was identified that conditions are potentially toxic at points 2, 6, and 7, with values exceeding the Minimum Inhibitory Concentration (MIC) of 20%, according to the Toxi-ChromoTest equipment and spectrophotometry.

pH levels for the method APHA 4500-H⁺ tended to become more basic (initial point 7.72 and final point 8.14), electrical conductivity increased dramatically (initial point 137.6 μ S/cm and final point 669 μ S/cm), and dissolved oxygen reached a maximum value of 109.47% and a minimum of 91.27%. It was demonstrated that the water temperature increased from 9.6 to 14.4 °C.

In this analysis, it is concluded that there are various anthropogenic and natural factors that pose a risk to the microbiota and conservation of the Tahuando River. These risks exacerbate the social crisis related to access to potable water, climate change, and waste management.

Keywords: Toxicity, Rio Tahuando, Oils and fats, Microbiota, Pollution.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas generan residuos y la falta de un sistema adecuado de remediación provoca un vertido de desechos en los ecosistemas, es decir un riesgo para la biosfera, estos componentes pueden afectar las condiciones adecuadas para el desarrollo de la vida (Arellano y Guzmán, 2011). Lastimosamente desde el 2015 el nivel de incumplimiento para la normativa en materia de aguas en ríos es propenso a aumentar identificando al sector rural como uno de los más afectados según la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA, 2016), en Ecuador. Los efectos derivados de cambio climático como el déficit de agua son agravados particularmente en épocas de verano, donde la demanda supera a la oferta disponible (Acosta y Martínez, 2010).

El río Tahuando se forma a partir de las aguas que nacen en la sierra norte del Ecuador, en Imbabura, Cantón Ibarra conformándose por pequeños remanentes, aguas de páramos en Zuleta, nevados y del volcán Imbabura, además el terreno presenta condiciones ideales para extender las áreas de cultivo y desarrollarse industrialmente en sus riveras (Terán, 2021). Se cree que el estado toxicológico del Río Tahuando es afectado por varios contaminantes emergentes, grasas y aceites, los estudios ayudaran a determinar la toxicidad de sus aguas y la existencia o no de grasas y aceites. La contaminación lacustre está relacionada con las descargas de aguas servidas, tanto en el sector de Ibarra como en sus parroquias rurales, varios ríos como el Tahuando, Ajaví y Chorlaví que atraviesan la ciudad no están limpios (Yépez, 2018).

El presente estudio evaluó los parámetros físico químicos del agua y la presencia de aceites y grasas análogo a APHA 5520 -B; los análisis biológicos para la determinación de toxicidad en sistemas lacustres se realizaron con lechuga (*Lactuca sativa* L.) y un test EBPI en los laboratorios de biotecnología y reproducción de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar toxicológicamente los contaminantes en la ribera del río Tahuando

2.2. Objetivos específicos

- Evaluar la presencia y concentración de grasas y aceites en el agua del río Tahuando.
- Establecer la toxicidad del agua del río Tahuando mediante bioensayos

2.3. Pregunta de investigación

¿Existe una concentración alta de grasas y aceites en el agua del río Tahuando?

¿Existe toxicidad en las muestras del río Tahuando?

CAPÍTULO III

ESTADO DEL ARTE

3.1. Cuenca hidrográfica

Son superficies donde todos los fluidos que caen drenan de diferentes formas hacia un río, en los Andes el origen de los fenómenos naturales como: nevados, precipitaciones, neblinas o vertientes geológicas hacen posible la existencia de cuencas hidrográficas dinámicas (Guhl, 2010). La cordillera andina del Ecuador es un refugio para la biodiversidad, esto asegura que los recursos naturales sean abundantes.

Una cuenca depende de las precipitaciones y otros fenómenos que formen un drenaje adecuado, sin perder ni sobreexplotar el recurso mencionado. La alta demanda de agua y la escasez son crecientes en muchas partes del mundo, también afecta a sus características física, contaminación y degradación de las cuencas hidrográficas. Se propone que de grandes ríos solamente el 5% de su antiguo caudal llega al mar y en otros casos no llegan a desembocar al mar, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2012). La capacidad de las cuencas para brindar servicios y recursos disminuye afectando la capacidad productiva y económica a nivel mundial.

La integridad de las cuencas en el Ecuador las es cruciales para la supervivencia y el bienestar de las comunidades locales, ya que proveen agua para el consumo humano, el riego de cultivos, la cría de animales y la generación de energía hidroeléctrica (Alcaldía del Cantón San Miguel de Ibarra, 2021). La sobrepoblación, la urbanización, la deforestación, la contaminación y el cambio climático son algunos de los factores que están afectando negativamente a las cuencas hidrográficas en todo el mundo. Además, estas cuencas son ecosistemas vitales que albergan una gran diversidad de flora y fauna, y contribuyen a la regulación del clima y a la protección de los suelos y la biodiversidad (Arellano y Guzmán, 2011).

3.1.1. Función dinámica

Los sistemas loticos son los ríos y corrientes de agua dulce que fluyen en un solo sentido, desde sus fuentes hasta su desembocadura en un lago o en el mar. Estos sistemas son importantes para un sistema ecológico dinámico, ya que proporcionan agua dulce, albergue a especies acuáticas y representa un recurso económico clave para soberanía, la agricultura y la industria (Cotler et al., 2013). Uno de los mayores desafíos que enfrentan los sistemas loticos es la contaminación química y la descarga de aguas residuales. Los contaminantes pueden incluir productos químicos tóxicos, metales pesados, nutrientes y sedimento. Los sistemas loticos se organizan por tres principales zonas (Cotler et al., 2013).

- **Zona de captación:** Cabecera o cuenca alta a las áreas cercanas a la divisoria de aguas o parteaguas en la parte más elevada de la cuenca, que incluyen sistemas montañosos y lomeríos. Aquí se forman los primeros escurrimientos o arroyos, después de que los suelos han retenido toda el agua que pueden absorber.
- **Zona de almacenamiento:** Transición o cuenca media, por otro lado, es una zona que se encuentra entre la cuenca alta y la cuenca baja, donde los escurrimientos iniciales convergen para aportar diferentes caudales con características físico químicas distintas, contaminantes y materia orgánica que dependerá de las actividades que se realizan en cada subcuenca. Esta zona se caracteriza por ser un área de transporte y erosión.
- **Zona de descarga:** Emisión o cuenca baja, es el lugar donde el río principal desemboca en el mar o en un lago. Esta zona es conocida por ser un área de importantes ecosistemas, como los humedales terrestres y costeros, se considera muy productiva en el uso agrícola. Los impactos negativos de toda la cuenca se acumularán en esta zona.

La gestión de las fuentes de agua a menudo es utilizada para la agricultura, la industria y la producción de energía hidroeléctrica. La gestión del agua debe ser equilibrada para garantizar que los sistemas loticos no se agoten y las actividades humanas puedan seguir utilizando el agua de manera sostenible. El Cantón Ibarra no dispone de ninguna industria que presente

propuestas de generación de energía renovable, se ha limitado a proyectos, uno de ellos es el de San Jerónimo con un alcance de 600 Kilowatts (Alcaldía del Cantón San Miguel de Ibarra, 2021). La gestión también debe considerar los efectos del cambio climático, que pueden aumentar la frecuencia e intensidad de las inundaciones y sequías, lo que puede tener un impacto significativo en los sistemas lóticos.

La conservación de la biodiversidad y la restauración de los ecosistemas acuáticos es un objetivo importante en la gestión de los sistemas lóticos. El suministro de agua puede ser afectado por actividades humanas como la construcción de presas y carreteras, la eliminación de vegetación ribereña y la erosión del suelo. El agotamiento severo del agua forma una cultura de explotación que, en países como India, China, Rusia, USA y Asia han mermado el recurso de agua subterránea (Perugachi y Cachipundo, 2020).

En Ecuador existe una crisis de abastecimiento en la zona urbana, la expansión de la frontera agrícola y cambio climático afectan a la provincia Imbabura la que presenta casos de carencia de agua potable, es el caso de Pesillo-Imbabura que impulsa acciones para obtener una mejor calidad de agua dando testimonio de la importancia de fuentes hídricas locales (Perugachi y Cachipundo, 2020). La importancia del control y mantenimiento de sistemas de agua corriente que deben ser aprovechados de manera coordinada y sustentable, garantizando el aprovechamiento de los sistemas lóticos para el futuro.

3.1.2. Formación de cuencas

La formación de cuencas hidrográficas es importante para la gestión del agua, la conservación de la biodiversidad y la prevención de inundaciones; el proceso de formación de una cuenca hidrográfica comienza con la elevación de la tierra, cuando se eleva lo suficiente, comienza a acumular agua de lluvia o atmosférica. El agua se acumula en depresiones naturales, como valles y llanuras desembocando en la formación de arroyos y ríos. (Cotler et al., 2013). La forma de la tierra también influye en la formación de una cuenca hidrográfica; si una región de tierra tiene una elevación uniforme, el agua de lluvia se acumulará en una cuenca hidrográfica circular u ovalada. Sin embargo, si la tierra tiene una

forma irregular, el agua de lluvia se acumulará en una cuenca hidrográfica que sigue la forma terrestre.

Una vez que se ha formado una cuenca hidrográfica, el agua comienza a moverse a través de ella. El agua fluye hacia abajo por los arroyos y ríos, y se acumula en cuerpos de agua más grandes (Gómez, 2020). En el camino, el agua naturalmente puede interactuar con la geomorfología y otros elementos del paisaje (vegetación y suelo).

Los elementos del paisaje y eventos meteorológicos tienen un papel importante en la formación y el funcionamiento de una cuenca hidrográfica. La cuenca del río Tahuando se forma de diferentes afluentes menores y del agua que se condensa en el páramo, su formación está caracterizada por deshielos entre el sector Zuleta, humedales y páramos del Volcán Imbabura (Terán, 2021). La vegetación puede absorber el agua de lluvia y reducir la erosión del suelo. El suelo puede actuar como una esponja y retener el agua, liberándola lentamente hacia los arroyos y ríos. Sin embargo, si la vegetación se elimina y el suelo se erosiona, la cantidad de agua que fluye a través de la cuenca hidrográfica puede aumentar, provocando un riesgo de inundaciones y lavado del material (Brea y Balocchi, 2010).

3.2. Contaminación de cuencas

Los contaminantes pueden ser de origen natural o antropogénico. En la actualidad, el planeta enfrenta una grave crisis ambiental que se manifiesta en diferentes formas, como la pérdida de recursos naturales, la disminución de la vegetación, la degradación de los ecosistemas, la rápida extinción de especies, la contaminación del medio ambiente y el cambio climático (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017). Pueden existir deposición de partículas bioacumulables presentes como: bromo (Br), cobre (Cu), molibdeno (Mo), fósforo (P), silicio (Si), cromo (Cr), manganeso (Mn), hierro (Fe), zinc (Zn), carbono (C), azufre (S), níquel (Ni) y numerosos elementos, lo que limita la idoneidad para su uso doméstico y agrícola impidiendo el desarrollo de diferentes especies (Delgadillo et al., 2010).

Las Naciones Unidas han expresado preocupación por la contaminación de los ríos en América Latina. han señalado los efectos negativos tanto para el medio ambiente como para

la salud de las personas. La presencia de desechos industriales y aguas residuales sin tratar afecta la calidad de cuencas y pone en riesgo la salud; se destaca que la contaminación a los ríos dificulta el acceso al agua potable lo asegura la Organización de las Naciones Unidas (ONU, s.f.). El llamado se ha realizado a los gobiernos y otros actores relevantes a tomar medidas para abordar este problema y garantizar el acceso universal a servicios de agua limpia.

La contaminación del río Tahuando afecta la calidad del agua y el paisaje en la ciudad. Las aguas residuales no tratadas provocan el desarrollo incontrolado de bacterias filamentosas (bulkíng) o la aparición espuma aporte de detergentes (Carceller, 1998). Esto genera la disminución en la disponibilidad de agua limpia y segura tanto para el consumo humano como para el uso recreativo y agrícola, lo que afecta directamente la calidad de vida de los habitantes (Terán, 2021).

3.2.1. Aguas residuales

Estas aguas contienen una variedad de sustancias y contaminantes, como productos químicos, metales pesados, nutrientes y microorganismos, que pueden ser perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente si no son tratados. El proceso de tratamiento es relativamente moderno ya que en la antigüedad la depuración bastaba con un proceso netamente natural. (Fonseca, 2013). El bulking altera el funcionamiento de las plantas de tratamiento (Carceller, 1998) El diseño y la operación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales es muy variable. Los diferentes tipos de agua residual se describen por su origen, cada una con una diferente composición (Fonseca, 2013).

- Domestica
- Industrial
- Municipal
- Pluviales

La disposición inadecuada de aguas residuales al río Tahuando agrava los problemas de contaminación en el sistema lacustre. Es crucial implementar sistemas de tratamiento de

aguas residuales eficientes y promover prácticas de gestión adecuadas para garantizar la protección y preservación de este importante recurso hídrico, tanto para el bienestar del ecosistema como para la salud de la comunidad (Alcaldía del Cantón San Miguel de Ibarra, 2021).

3.2.2. Contaminantes emergentes

Son sustancias químicas no reguladas o monitoreadas de manera regular, pero que están presentes en el medio ambiente y pueden tener efectos dañinos en la salud humana y en el ecosistema. Estos contaminantes se llaman "emergentes" porque su presencia y efectos nocivos solo se han identificado recientemente, y aún no se han desarrollado medidas efectivas para controlarlos y prevenir su impacto (Arbeláez, 2015).

Los productos farmacéuticos forman parte de estos contaminantes y pueden llegar a ser tóxicos para los organismos acuáticos los que pueden afectar su capacidad para reproducirse y desarrollarse (Gil et al., 2012).

Estos contaminantes recientemente incluyeron al grupo de los neuroplásticos que pueden entrar en el medio ambiente a través de la eliminación inadecuada de productos químicos o degradación de polímeros afectando a la vida silvestre y la cadena trófica afectando a personas expuestas (Arbeláez, 2015). Se estima que refugiados climáticos o desplazados aumentarán, careciendo de condiciones de salud y materia sanitaria como lo afirma el Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados (ACNUR, 2021).

Los micro plásticos también afectan sistemas acuáticos con consecuencias poco estudiadas especialmente en Ecuador, las partículas afectan la biota y potencialmente llegaran a formar componentes y sustancias tóxicas que pueden ser ingeridos (Sáenz, 2020). La búsqueda de nuevos métodos de control y soluciones buscan implementar la biorremediación como método de contener o filtrar micro plásticos para el control de los problemas ambientales (Acosta et al., 2022).

La academia considera varios estudios sobre el impacto y manejo de este río al ser una fuente clave para el abastecimiento de varias ciudades, existen estudios donde se ha determinado la

presencia de micro plásticos en el río Tahuando el estado actual (Escobar, 2023), este es un punto clave para considerar un nivel de toxicidad por varios agentes presentes en el río y conocer la dinámica ecológica y así plantear nuevas estrategias para su remediación.

3.2.3. Aceites y grasas

Estos forman una capa en la superficie del agua, impidiendo la correcta oxigenación y afectando la vida de las plantas y los animales acuáticos. Suelen ser tóxicos y contener sustancias dañinas, lo que agrava aún más la contaminación y el riesgo para la salud humana y la biodiversidad. En la actualidad más del 70% de los detergentes son sintéticos, el contenido de sustancias orgánicas menos densas que el agua (surfactantes), produce una disminución en la tensión superficial del agua (Téllez, 2016).

Los ríos cercanos a Ibarra también sirven como fuentes receptoras de contaminación y aguas servidas de los colectores de diferentes sistemas de alcantarillado, siendo el Tahuando, Ajaví y Chorlaví los receptores directos de contaminación (Yépez, 2018).

La descarga de aceites y grasas también contienen materiales conocidos como triglicéridos, son materiales hidrofóbicos insolubles en agua. Los compuestos se encuentran en animales y plantas (algunos sintéticos), y están formados por un mol de glicerol y tres moles de ácidos grasos. La longitud de la cadena carbonada y el número de dobles ligaduras en los ácidos grasos varían, lo que determina las características y la clasificación de las grasas. Se vuelve indispensable educar a la población sobre no verter aceites y grasas en el sistema de alcantarillado ni en cuerpos de agua, fomentando alternativas responsables de manejo, preservando la calidad del agua y protegiendo el medio ambiente (Bernabé, 2007).

3.3. Bioensayos

Los bioensayos de toxicidad son pruebas realizadas en laboratorios para medir los efectos de las sustancias químicas y otros compuestos en organismos vivos. Estas pruebas se llevan a cabo para determinar si una sustancia es tóxica para los seres humanos, los animales o el medio ambiente. Se realizan utilizando una amplia variedad de organismos, desde bacterias

hasta mamíferos, dependiendo de la sustancia que se esté probando y de los objetivos de la prueba. Los organismos más comúnmente utilizados en los bioensayos incluyen algas, protozoos, crustáceos, peces, aves y ratones (Ramírez y Mendoza, 2008).

Se realizan exponiendo al organismo de prueba a diferentes concentraciones de la sustancia que se está probando y observando. Los efectos pueden ser físicos, químicos o biológicos, y pueden incluir la muerte, la enfermedad, la alteración del crecimiento o la reproducción, o la alteración de la función metabólica (Jaramillo et al., 2006).

Existe diferentes tipos diferentes de bioensayos de toxicidad, cada uno evalúa diferentes aspectos de la toxicidad. Algunos de los tipos más comunes incluyen bioensayos de mortalidad los que se utilizan para determinar la concentración letal (CL50) de una sustancia, es decir, la concentración que mata al 50% de los organismos de prueba (Ramírez y Mendoza, 2008)

El río Tahuando se encuentra expuesto a diversos riesgos derivados de la contaminación química y la descarga de aguas residuales, las consecuencias son significativas para la salud humana; para evaluar el estado del río Tahuando y su grado de contaminación (Terán, 2021). Los bioensayos de toxicidad son herramientas importantes que permiten detectar la presencia de contaminantes y evaluar su impacto sobre plantas o microorganismos.

3.3.1. Análisis de Toxicidad en sistemas de agua dulce

La toxicidad se refiere a la capacidad de ciertas sustancias químicas o radiaciones para dañar el material genético de las células, lo que puede llevar a cambios en la estructura o función del ADN y posibles consecuencias de muerte celular (Jaramillo et al., 2006).

Las diferentes pruebas y ensayos utilizados para genotoxicidad de sustancias químicas se las puede realizar en plantas y animales. Estas pruebas pueden incluir ensayos in vitro, que se realizan en células cultivadas en el laboratorio, así como ensayos in vivo, que se llevan a cabo en organismos vivos como roedores (Ramírez y Mendoza, 2008).

La evaluación científica se realiza para determinar la presencia y el impacto de sustancias tóxicas en un determinado medio, ya sea agua, suelo u otro componente del ecosistema. Este tipo de análisis se lleva a cabo para comprender los efectos adversos que dichas sustancias pueden tener en los organismos vivos y el medio ambiente en general (Ramírez y Mendoza, 2008).

El análisis de toxicidad puede incluir pruebas de mortalidad, crecimiento, reproducción, cambios genéticos o efectos bioquímicos en los organismos expuestos, nos permiten evaluar el nivel de toxicidad y el riesgo que representan las sustancias para la salud humana, la vida acuática y el ecosistema (Jaramillo et al., 2006).

3.3.2. Ensayo con Lechuga (*Lactuca sativa* L)

La toxicidad en la lechuga se encuentra entre los métodos de monitoreo más utilizados en ecosistemas de agua dulce y estuarios.

Tabla 1:

Descripción botánica y experimental

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Familia:	Asteraceae
Subfamilia:	Cichorioideae
Tribu:	Lactuceae
Genero:	Lactuca
Especie:	<i>Lactuca sativa</i> L.
Experimento:	Germinación
Ensayo:	Ensayo Inter calibrado
Tiempo del ensayo:	120 horas

Nota: Resumen de la descripción biológica, tipo de experimento y tiempo según (Arguello, 2018) y (Ramírez y Mendoza, 2008) Se trata de la evaluación más recomendada de fitotoxicidad, los puntos a resolver son la germinación de las semillas y la prueba de elongación radical. El fin es establecer un índice biológico que permita determinar condiciones de contaminación. Las altas concentraciones de nutrientes son criterios que se comparan con la germinación en agua dura (destilada) (Rodríguez et al., 2014).

Su morfología y crecimiento, la germinación ocurre cuando la testa se fragmenta por la presencia de nutrientes y se desarrolla el embrión; la inhibición ocurre cuando un agente tóxico no permite su crecimiento siendo una especie muy sensible a cambios (Rodríguez et al., 2014), produciendo una elongación ascendente (epicótilo) y descendente (radícula). En su madurez es una especie que no sobrepasa los 25 cm de profundidad en raíz (Arguello, 2018).

Figura 1:

Morfología de la semilla



Nota: Morfología de la semilla sobre una caja Petri de 9 cm al cabo de 120 horas de germinación.

La fitotoxicidad es un medio de verificación sobre la calidad de los sistemas de agua dulce que abastecen el consumo industrial y doméstico (Ramírez y Mendoza, 2008). Los tipos de ensayos se los puede clasificar por su nivel de complejidad o la especie utilizada, el uso de especies como el Cladócero (*Daphnia magna*), Cebolla (*Allium cepa* L.) o Lechuga (*Lactuca sativa* L.) pertenecen a los ensayos inter calibrados, el uso de algas y macroinvertebrados como larvas juveniles de peces, tilapias, carpas y nemátodos pertenecen al grupo de ensayos de amplia experiencia y por último los ensayos con experiencia. El tiempo de los resultados se mide en horas y varía por cada método (Ramírez y Mendoza, 2008).

3.3.3. Ensayos microbiológicos Toxi-Chromo Test

Para esta prueba de toxicidad en agua, suelo y sedimento es posible utilizar pruebas rápidas proporcionadas por casas comerciales. Los kits pueden detectar una amplia gama de sustancias tóxicas, como metales pesados y orgánicos, y contaminantes inorgánicos en el agua y muestras de suelo o sedimento, con el uso de agua problema y bacterias sensibles se logra una reacción de β -galactosidasa. El ensayo se basa en la inhibición de la síntesis de la enzima B-galactosidasa en bacterias *Escherichia coli* (*E. coli*.) Environmental Bio-Detection Products Inc. (EBPI, 2023). Los ensayos con biomoléculas y modificaciones son cada vez más comunes y pretenden resolver un problema al ser fáciles de aplicar al momento de detectar toxicidad. La bacteria *E. coli*. es una de las usadas y estudiadas en todo el mundo, también puede acumular toxinas y llegara ser tóxica (Stahl, 1967).

La enzima β . galactosidasa en la *E-coli* se ha demostrado que es susceptible y sensible; también es esencial contar con un procedimiento efectivo para seleccionar o al menos evaluar la función deseada. En este contexto, las técnicas de biología molecular ofrecen dos herramientas poderosas para llevar a cabo la mutagénesis aleatoria de los genes aislados, permitiendo explorar y modificar su función de manera precisa (Bianco, 2016).

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en dos fases de investigación, la primera consistió en el análisis de parámetros ambientales y características in situ y la segunda fase se organiza en los laboratorios de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales en la ciudad de Ibarra.

4.1. Materiales

4.1.1. Materiales de laboratorio

- Embudo de separación de 250 ml LMS de 4 mm
- Frasco Boeco 500 ml
- Frasco Boeco de 1 L
- Microplaca
- Papel filtro Macherey-Nagel
- Petrifilm 3m
- Placas Petri
- Puntas para micropipetas
- Vasos de boca ancha BOECO

4.1.2. Reactivos

- Agua desionizada
- Alcohol metílico 96 %
- Cloruro de mercurio pa
- Éter de petróleo 99 %
- Kit Toxi-ChromoTest Versión 3.6 EMBI
- Semillas de Lechuga (Batavia Bionda di Parigi)

4.1.3. Equipos

- Anemómetro multicriterio EXTECH
- Balanza analítica Metter Toledo Modelo ME204
- Cabina o campana de gases ISOCIDE PCR ESCO
- Conductímetro EXTECH Modelo: EX010
- Espectro fotómetro Bio Tek Instruments, Modelo: EPOCH
- Estufa de secado OVEN Modelo: BJPX-Spring
- Horno BINDER Modelo: 2.0
- Incubadora Thermo Fisher Scientific, Modelo: 3621
- Micropipetas Thermo Scientific Modelo: PU31279
- Oxímetro HANNA Modelo: HI9146
- Potenciómetro EXTECH, Modelo pH110
- Termómetro EXTECH
- Cámara de germinación, Modelo Mangelsdorf

4.1.4. Software

- Microsoft Excel 2016, Versión 16.0
- GraphPad Prism, Versión 10.0.1

4.2. Métodos

Es una investigación de tipo bibliográfica, descriptiva, cuantitativa y experimental. Para el desarrollo en campo la selección planteada es reestablecida de otras investigaciones. Con el fin de dar un seguimiento al estado del río y analizar los siete puntos predeterminados. Para los análisis físico químicos y microbiológicos se utilizó los laboratorios de Química, Microbiología y Biotecnología. Todos los equipos y materiales son abalados periódicamente asegurando su funcionamiento de acuerdo al nivel de precisión de la Pontificia Universidad Católica Sede Ibarra.

4.2.1. Área de estudio

Se realizó la investigación en el río Tahuando, se analizó parámetros de la calidad del agua y estado microbiológico acuático recolectando suficiente muestra. La investigación usó datos bibliográficos, cualitativos, matemáticos y descriptivos.

Se recolectó la muestra de agua del río Tahuando, en el mes de julio. Las técnicas de muestreo cualitativo, como la selección de lugares representativos y la búsqueda de noticias, mapeo satelital, líneas de investigación y legislación. La visita a los siete puntos propuestos fue indispensable para explorar y describir las condiciones del terreno, también se menciona ciertos impactos ambientales presentes en el río por actividad antrópica o fenómenos climáticos.

4.2.2. Puntos de muestreo

Ecuador se caracteriza por la cordillera de los Andes, la formación geológica es indispensable para el ciclo del agua en el país. La capital de Imbabura, Ibarra presenta un crecimiento en sus parroquias por lo que se toman puntos de incidencia significativos para el análisis de muestreo. La falta de hielo y degradación del páramo son preocupantes para la conservación del estado de la cuenca.

La presión antrópica influye en el río Tahuando desde los páramos por varios fenómenos climáticos que se han vuelto más marcados por sequías o inundaciones. La demanda de productos agrícolas lleva a utilizar el agua con fines industriales y la contaminación que arrastre el caudal se acumula, dejando a los sistemas lóticos expuestos y los componentes tóxicos se acumulan afectando la cadena trófica e inevitablemente al humano.

Los siete puntos se diferencian de acuerdo a parámetros como su accesibilidad, representatividad, seguridad y periodos de muestreo. El sitio de toma de muestras es visitado periódicamente por equipos de investigación. Se empezó desde el ubicado a mayor altura. Punto 1: La Rinconada se presenta como el punto donde el agua tiene menor presión antrópica, es representativo por una cascada y actividades turísticas, se encuentra a dentro vegetación del bosque andino y su acceso a este sector es restringido. Punto 2: Zuleta se

encuentra a 10 minutos en auto de Ibarra. En este existió una notable cantidad de rocas desplazadas por la corriente e infraestructura pública afectada, no cuenta con vías de acceso, y se pudo observar a personas que se dedican a buscar peces en su rivera, Punto 3: Tres cascadas se localiza cerca de una finca ganadera, no existir vías de acceso para vehículo y la presencia de animales de pastoreo es intensa. Aparentemente no representa ningún fin turístico. Punto 4: Cantera San José se trata de una zona industrial de explotación pétreo, se observa el constante flujo de transporte pesado, ruido y polvo, Punto 5: Romerillo Alto se caracterizó por ser altamente poblado y la presencia de turistas que buscaban una fuente de agua para recreación, Punto 6: La Victoria es el más cercano a la universidad, se observa la presencia de ganado, insectos y mal olor. Se destacó la presencia de personas en situación de calle que utilizan el río como fuente de agua, Punto 7: Cañaverales, este punto se encuentra bloqueado, es preciso caminar 30 minutos y es claro que existe poca vegetación y laderas inestables.

Tabla 2:

Puntos de Muestreo dentro de la cuenca del río Tahuando.

Nombre	Coordenadas	
La Rinconada	823995	10027606
Punhuaico	823228	10029817
Tres cascadas	821548	10038798
Cantera San José	823233	10032216
Romerillo alto	822742	10065752
La Victoria	821358	10037763
Tahuando punto final	819068	10044388

Nota: Es el estudio a lo largo del curso principal del río, comenzando en La Rinconada y concluyendo en su unión con el río Ambi, con el objetivo de analizar el cañón.

Figura 2:

Puntos de muestreo y cuenca del río

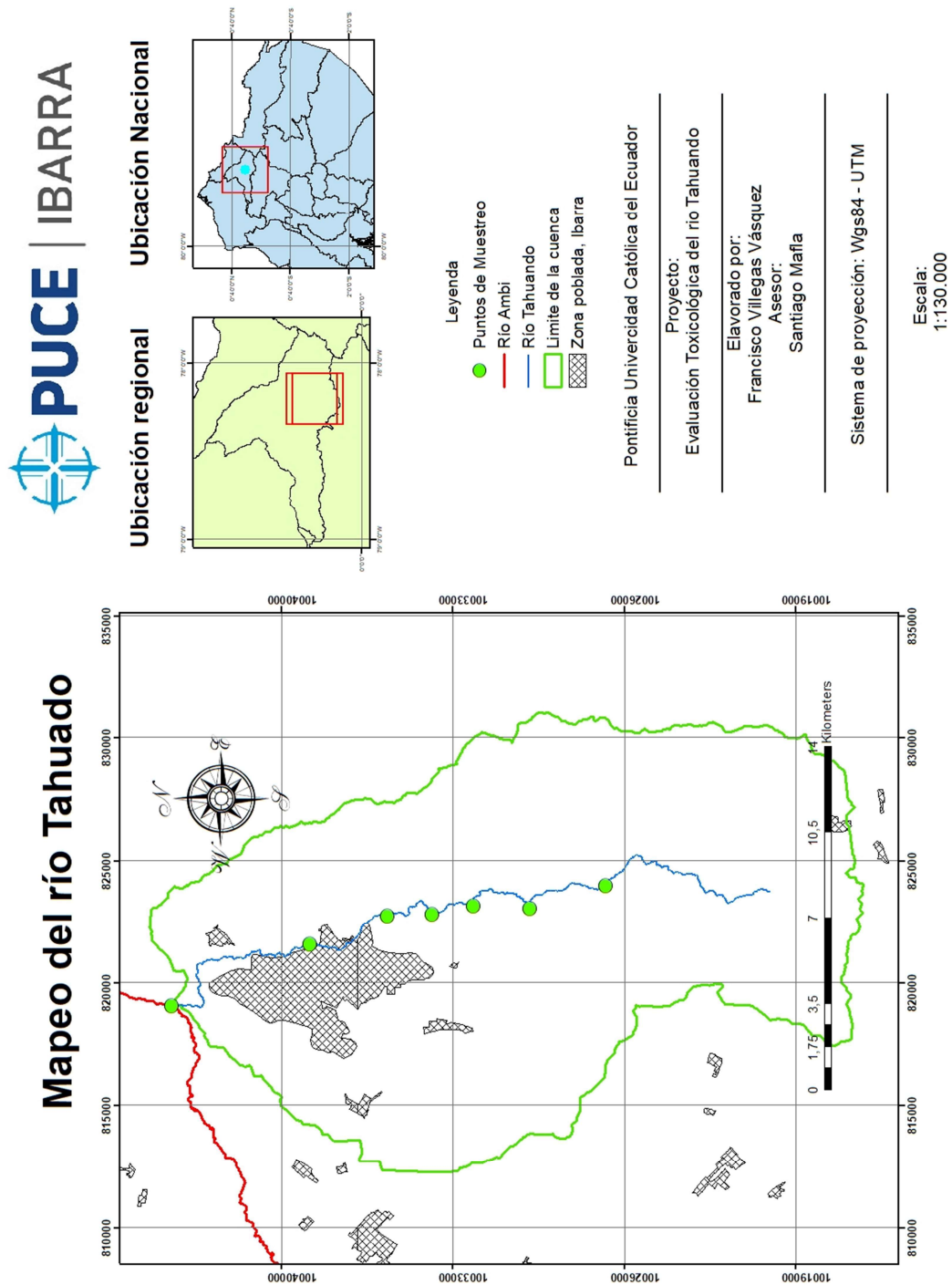


Tabla 3:

Distancia entre puntos

Punto de interés	Distancia (Km)
La Rinconada	0
Punhuaico	4.47
Tres cascadas	2.89
Cantera San José	1.49
Romerillo alto	2.41
La Victoria	3.66
Tahuando Final	6.80

Nota: Entre cada punto existe una distancia media de 3.6 kilómetros, describiendo áreas indispensables para identificar cuál de estos puntos es el más crítico.

4.2.3. Caracterización In Situ

- Temperatura del agua

Se utilizó termómetro tomando una muestra in situ directamente del agua que se recolecta. Con un termómetro digital se establece una temperatura (Fundación Nacional de Salud, 2014).

- Temperatura ambiente

Se tomó el dato de temperatura máxima y mínima con el anemómetro que realiza mediciones multicriterio in situ.

- Humedad ambiental

Se utilizó el anemómetro para estimar el porcentaje de humedad ambiental en las zonas de muestreo. Se ubica el equipo a la altura de pecho con el brazo totalmente extendido.

- Velocidad del viento

Se utilizó con un anemómetro digital con diversas funciones, como medición de temperatura ambiental máxima y mínima, además de un medidor de humedad ambiental.

- Oxígeno disuelto en porcentaje y ppm

Usamos un oxímetro previamente verificado. Se sumerge a la altura de la membrana. Una vez estabilizado el dato procedemos a guardarlo.

- Recolección y muestreo del agua

Para el análisis microbiológico se toman frascos estériles para coleccionar muestras a un tercio de capacidad máxima. Las muestras de agua se movilizan y trasladan de acuerdo al método estándar citado APHA (2005) recuperado de (Severiche et al., 2013).

Una vez que se recolecta la muestra, la composición varía con el tiempo debido a cambios químicos, reacciones con el aire o interacción con el recipiente (Reutelshöfer y Guzmán, 2015).

Para el análisis en laboratorios se recolectan muestras en frascos Boeco de 1000 y 250 ml. Se trasladaron las muestras en un cooler a 4°C. Esta técnica es muy utilizada al poder generar una integridad de los compuestos químicos y parámetros físico químicos (Paredes, 2019).

4.2.4. Análisis de parámetros físico químicos

Los análisis de calidad de agua se realizaron en los laboratorios de la universidad, el uso de estos laboratorios es dirigido y supervisado regularmente. El material, equipo e instrumentos descritos contaron con las condiciones de seguridad y salud ocupacional adecuadas.

Conductividad.

- Se colocó el conductímetro multímetro EXTECH en el agua. Una vez estabilizado el dato la conductividad eléctrica se toma micro siemens ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Se realizó conforme al método 2550 (APHA-AWWA-WEF, 2005).

Potenciómetro pH

- Se colocó la muestra de agua en un vaso de precipitación de 100 ml; después se introduce el electrodo previamente lavado con agua desionizada en el vaso de precipitación, se espera hasta que el dato se estabilice y se tomó el dato (Paredes, 2019). Previamente se calibró el equipo con un buffer de soluciones acidas y básicas respectivamente. Referente al método 4500-H⁺ (APHA-AWWA-WEF, 2005).

4.2.5. Aceites y grasas

Este análisis se realizó con la técnica análoga a APHA 5520 -B, el ensayo se realiza en el laboratorio de química respecto al protocolo.

- Se limpió los vasos de vidrio de boca ancha.
- Se ajustó la temperatura del horno a 105 °C y se procedió a tarar los recipientes hasta que su peso no varíe con $\pm 0.0005\text{g}$.
- Se dejó enfriar en un desecador con silicagel alrededor de 15 minutos y registrar su masa en la balanza analítica.
- Se fijó un soporte universal con un aro de hierro.
- Se colocó un balón de decantación por cada muestra.
- Se homogeniza con éter de petróleo. Esperando unos minutos para su evaporación.
- Se coloca el balón de decantación con 100 ml de la muestra y 10 ml de éter de petróleo.
- Se colocó el tapón y agitó con cuidado; despresurizar frecuentemente y se dejó reposar.
- Cuando se observe una clara separación de las capas de aceite y grasas con la fase líquida del agua. Finalmente se retira el agua excedente.
- La grasa se deja reposar en los vasos de vidrio de boca ancha previamente tarados.

- Se colocan durante 4 a 5 horas en el desecador, observando que la evaporación del éter sea total.
- El valor obtenido de la diferencia de pesos y haciendo el cálculo con la fórmula obtendremos el resultado de grasas y aceites en mg/L.
- Fórmula.

$$\text{Peso del vaso con muestra} - \text{Peso del tarado vacío} = \frac{mg}{L} \text{ aceites y grasas}$$

$$\frac{\text{Peso del vaso con muestra} - \text{Peso del tarado vacío}}{100} = \text{Porcen. aceites y grasas}$$

$$\frac{1000000}{\text{Peso de grasas y aceites en g x ml muestra}} = \frac{mg}{L} \text{ aceites y grasas}$$

4.2.6. Análisis Biológicos

Se realizan tres tipos de análisis biológicos, el primer ensayo descrito es de fitotoxicidad con el uso de lechuga (*Lactuca sativa*. L.), el segundo corresponde al análisis de coliformes (fecales con el uso de placas Petrifilm 3m y por último un ensayo de toxicidad Toxi-ChromoTest de EBPI.

4.2.6.1. Toxicidad en semillas de lechuga (*Lactuca sativa*. L.)

Para la prueba de toxicidad se empleó semillas de lechuga, se evaluó la germinación de semillas de lechuga siguiendo el procedimiento propuesto para análisis de sistemas lacustres con el ensayo propuesto (Rodríguez et al., 2014).

- Lavado, limpieza y secado de cajas Petri.
- Se colocó las cajas Petri cada una con una numeración y código específico.

- Se ubicó un papel filtro de 9 ml como cama para las semillas.
- Se colocó una cantidad de seis semillas y se humedece con 4 o 5 ml de agua.
- Se cerró el medio con Parafilm “M” para evitar pérdidas de líquido
- Se colocó en la cámara de germinación tipo Mangelsdorf de a las 17:00 H
- Se conservó a una temperatura óptima de 24 °C de temperatura y una humedad del 60 % durante 120 horas.
- Con ayuda de un calibrador se mide la elongación del ápice y la raíz de las semillas germinadas
- Una vez terminado el conteo se eliminó las muestras

Los resultados obtenidos se expresaron como el porcentaje de germinación relativa de semillas (GRS), el crecimiento relativo de la radícula (CRR) y el índice de germinación (IG) de acuerdo con Hoekstra et al. (2002) y Walter et al. (2006) recuperado de (Rodríguez et al., 2014).

$$GRS (\%) = \frac{\# \text{ Semillas germinadas con agua cont.}}{\# \text{ Semillas germinadas con agua dura}} * 100$$

$$GRR (\%) = \frac{\text{Long promedio de la radícula con agua cont.}}{\text{Long promegio de la radícula con agua dura}} * 100$$

$$IG (\%) = \frac{GRS * CRR}{100}$$

Se calcularon los índices del porcentaje de germinación residual normalizado (IGN) y de elongación radical residual normalizado (IER)

$$IGN = \frac{Germx - GermTestigo}{GermTestigo}$$

$$IER = \frac{Elongx - ElongTestigo}{ElongTestigo}$$

- ✓ GermX es el porcentaje promedio de semillas germinadas en el agua de cada sitio de estudio
- ✓ GermTestigo es el porcentaje de semillas germinadas en el testigo.
- ✓ ElongX es la longitud promedio de la radícula
- ✓ ElongTestigo es la longitud de la radícula en el testigo

Ambos índices IGN e IER establecen valores de toxicidad.

Tabla 4:

Valores de toxicidad del IGN e IER

Categoría	Escala de -1 a > 0
Baja toxicidad	0 a -0.25
Toxicidad moderada	-0.25 a -0.5
Muy tóxico	-0.5 a -0.75
Toxicidad muy alta	-0.75 a -1.0
Crecimiento de radícula	> 0

Nota: Se indica la escala o categoría de toxicidad y el rango del índice valores del índice > 0 indican crecimiento de la radícula (Rodríguez et al., 2014).

4.2.6.2. Análisis de coliformes

Se utilizó el sistema de placas 3M™ Petrifilm™ para recuento de *E. Coli*. Por el método APHA 9260F se filtra un volumen de la muestra, transfiriendo la membrana a medio Endo:

Se incubó a 45°C y se identifican bioquímicamente las colonias por conteo (APHA-AWWA-WEF, 2005). Es una herramienta lista para usar que permite identificar confiablemente las Unidades Formadoras de Colonia (UFC). Estas placas contienen nutrientes de violeta roja biliar (VRB), un agente gelificante soluble en agua fría y un indicador de tetrazolio. Para muestras ambientales es reconocido y certificado por AFNOR Certification. (3M, 2019).

- Se sembró 1 ml de agua problema en el medio de cultivo 3M™ Petrifilm™.
- Se colocó en la incubadora durante 24 horas.
- Se interpretó.

4.2.6.3. Toxicidad con microorganismos

Este ensayo se realizó con el equipo Toxi-Chromo Test Kit Versión 3.6 de la casa comercial EBPI. Nos permite analizar por espectrofotometría la toxicidad en la flora bacteriana. Se dispone del laboratorio de biotecnología y reproducción para evitar una posible contaminación cruzada.

- Se dispone de una microplaca, las dos primeras columnas del medio de cultivo para colocar un par de testigos, uno será el testigo sin material tóxico y la siguiente fila es para la solución tóxica estándar de HgCl_2 de 4µg/mL
- Tomaremos una caja dispensadora de 8 x 12, las filas se dividen en letras de la A hasta la H y las columnas numeradas son 12. En total consta de 96 pocillos
- Se colocó la disposición base a una adaptación sistemática. Se realiza tres repeticiones de cada muestra. En total el uso de 21 pocillos fue suficiente para el análisis actual de este río. Con el fin de conocer si existe o no toxicidad.
- Consta de 5 reactivos dispuestos en una botella A, B, C, E y F; la botella D consta de un tóxico estándar de HgCl_2 .
- Se colocó un espacio blanco en la fila 1 y un control positivo tóxico estándar (HgCl_2) en la columna 2 por cada prueba.
- El resto de las columnas se utilizó para desarrollar el resto de ensayos.

- Se continuó el Toxi-ChromoTest. Dispensando 100 μ L del tóxico de la botella G a todos los pocillos, excepto en la columna A donde se agregará el material de resistencia total que se probará.
- Se dispensó 200 μ L del toxico estándar botella D al primer pocillo de la columna 2 pozo A2.
- Se homogenizó y trasladó 100 μ L de solución a las columnas hacia abajo en la columna, de esta manera se termina con cloruro de mercurio a partir de una concentración de 4 μ g/mL que debe inducir la completa toxicidad y terminando con una concentración de 0.06 μ g/mL cuya toxicidad disminuye.
- Dispense 100 μ L de la mezcla de reacción de la botella A en los pozos de la columna 1. Estos utilizarán el blanco del reactivo, utilizando como control el blanco la concentración es cero y no existe toxicidad.
- Se rehidrató las bacterias de la botella B con la solución de la botella C, es importante mantener el contenido de las botellas frío.
- Se retiró los sellos y tapones de las dos botellas inmediatamente transferir el medio de la botella C a la botella B.
- Se dejó reposar 15 minutos a temperatura ambiente y transferir 1 mL de la suspensión bacteriana dispuesta en la botella B y mezcla en la botella A. Ahora se dispone desde la columna 2 hasta la 12.
- Se incubó la microplaca a 37 °C durante 90 minutos. Se incluye la botella F (azul cromógeno) al incubar. Durante ese tiempo, las bacterias intentan inducir los sistemas enzimáticos de producción de β -galactosidasa.
- Después de incubar se dispensó 100 μ L de sustrato cromo génico. Incube la microplaca durante 30 minutos.
- Se sembró 1 mL del agua de muestra. La reacción del color se leyó en un lector de placas o espectrofotómetro a 615 nm (Enviromental Bio-detection Products Inc, s.f.).

La incubación a 37°C contó con revisiones periódicas para observar el cambio de color. Finalmente, la lectura de la placa fue realizada con el espectrofotómetro arrojado los resultados inmediatamente. Se toma una concentración mínima inhibitoria; “Minimal

Inhibitory Concentration” (MIC) del 20%, se refiere a la cantidad mínima de un agente antimicrobiano-necesaria para inhibir el crecimiento de un microorganismo.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Resultados

La calidad de los parámetros se midió mediante métodos in situ y ex situ, a continuación, se plasman los resultados con la ayuda de tablas y figuras que permitan comprender el trabajo realizado.

El cambio climático y la migración también forman parte de la problemática la demanda de agua ha llevado a personas sin hogar a utilizar fuentes de agua, estas fuentes no se encuentran sanitizadas como consecuencia esto se vuelve un problema de salud pública y agrava la crisis sanitaria (Llain y Hawkins, 2020).

5.1.1. Parámetros

Los parámetros ambientales y características del agua en el sitio de muestreo se presentan a continuación.

Tabla 5:

Parámetros in situ de las condiciones ambientales de los puntos de muestreo

Parámetro	Unidad	Puntos de muestreo						
		1	2	3	4	5	6	7
Velocidad. Viento	Km/h	0	3.3	4.7	1.9	5.4	3.4	4.6
Temperatura. Amb.	°C	22	22.1	23.4	19.2	20.2	22	26
Temperatura. Agua	°C	9.6	10	12.3	14.1	14.3	14.2	14.4
Humedad Relativa	%	55	51.4	41.9	41.7	47.3	46.3	62.6

Nota: Se detalla el parámetro analizado, la unidad y se numera los puntos de muestreo.

Con el fin de conocer las condiciones en las que se realizó el análisis se describen las condiciones del tiempo en las que se tomó en el lugar, las condiciones del entorno influyen visualmente y alteran factores que pueden ser claves en la conservación del recurso, es el caso del viento, temperatura y humedad relativa.

La condición de velocidad del viento en el punto 1 es de 0 Km/h, la cobertura vegetal que presentaba el sector no permite que exista un flujo de aire apreciable en el equipo de campo disponible.

El cambio en la cubierta vegetal de un ecosistema puede generar alteraciones físicas en el entorno entre ellas la temperatura, velocidad del viento y humedad, se estima que el aumento de temperatura puede llegar a ser de 2.6 y 4.8 °C (Uribe, 2015), en la región andinas, esto incluye un cambio en la biodiversidad agravado por la deforestación. La temperatura del agua también se ve afectada por este cambio.

La falta de precipitaciones altera la calidad y disponibilidad del agua, Los cambios en la temperatura y fenómenos meteorológicos cada vez más intensos y frecuentes son parte del cambio climático en fenómeno que actualmente causa preocupación a los gobiernos. Este calentamiento progresivo ha causado que el hielo de los glaciares andinos tenga una acelerada pérdida. (Feo et al., 2009). El río Tahuando también es alimentado por el agua del nevado Cayambe, esta condición puede afectar directamente sobre la temperatura y calidad del agua (Terán, 2021).

Ecuador ya ha sentido los efectos del cambio climático, varias montañas en este país han perdido sus glaciares en los últimos como el Imbabura, Cotacachi y Pichincha además el volcán Cotopaxi también tendrá el mismo destino (Feo et al., 2009). Condiciones de estiaje y altas temperaturas pueden llevar a cuadros de deshidratación y afectaciones a ancianos y en la ciudad se existirá mayor pobreza.

Las condiciones de humedad son favorables para un gran número de especies vegetales, a la vez están manteniendo la humedad formando un suelo que afecta al suelo y evitan la erosión de la cuenca, la humedad es indispensable para el desarrollo y conservación de especies anfibias

(Uribe, 2015). Como característica principal poseen una sensibilidad asombrosa frente a cambios de temperatura y humedad por lo que pueden ser usados como bioindicadores.

Tabla 6:

Medición de Oxígeno disuelto en el río Tahuando en los 7 puntos de muestreo

Oxígeno disuelto (OD) Unidad		Puntos de muestreo						
		1	2	3	4	5	6	7
Concentración (OD)	ppm	8.13	8.25	9.32	9.30	8.66	8.50	8.40
Saturación (OD)	%	97.6	91.27	109.47	107.9	105.0	94.3	102.07

Nota: Se detalla el parámetro de oxígeno disuelto en partes por millón (ppm) y porcentaje.

La diferencia entre la mayoría de los puntos de no es significativa de acuerdo con el análisis de varianza aplicado, existe un contraste entre el segundo y tercer punto, además destaca el cambio que existe del tercer al séptimo punto.

La disminución del oxígeno disuelto provoca condiciones sépticas incapaces de albergar la vida acuática, autores definen a una concentración menor a 3 ppm como dañina para el ecosistema, niveles suficientes entre 5 y 6 ppm y hasta de 15 ppm óptimas para la vida acuática. Existen limitaciones del oxígeno disuelto como la salinidad, capas de grasa o bacterias filamentosas (Carceller, 1998).

Este parámetro se relaciona estrechamente con la temperatura, a mayor temperatura disminuye el oxígeno disuelto disponible. Estas condiciones pueden ser favorables para las actividades de desarrollo turístico dispuestas en la zona alta de la cuenca (Alcaldía del Cantón San Miguel de Ibarra, 2021). Estas actividades ubicadas en Zuleta se encargan de la crianza y pesca artesanal de truchas o tilapias aprovechando su valor paisajístico.

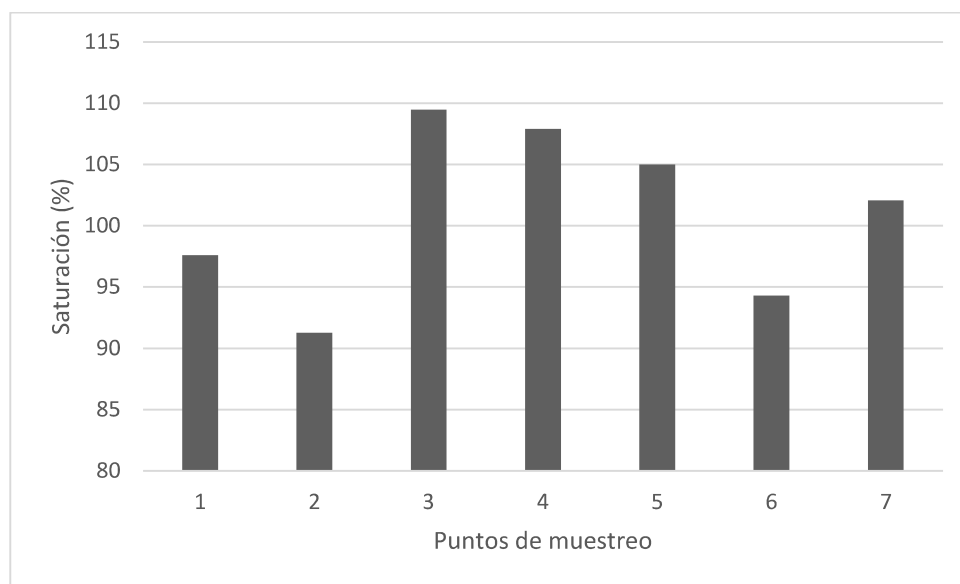
En la zona baja Los Cañaverales existió un aumento sorpresivo de conductividad eléctrica relacionado al estado de sales disueltas (analizados más adelante), este factor es

potencialmente toxico para las especies de truchas o tilapias (Peña, 2007). La vida acuática que se desarrolle en este ecosistema sufrirá cambios relacionados a elementos vertidos al mismo y potencialmente ingresaran a la cadena trófica.

Esta disminución en el oxígeno tiene un impacto desfavorable en los embriones y las larvas de anfibios, que necesitan ascender con mayor regularidad hacia la superficie para satisfacer sus requerimientos de consumo de oxígeno (Uribe, 2015). El cambio en la biodiversidad es cada vez más notable en ciudades de América Latina donde el control de las autoridades y la tecnología no es suficiente para mantener el ambiente saludable.

Figura 3:

Saturación de OD en el río Tahuando en los 7 puntos de muestreo



Los niveles de saturación del oxígeno disuelto son mayores al 80 % en todos los puntos, es por esto que se considera que cumplen los criterios dispuestos por la Tabla 3 (Ministerio del Ambiente, 2015).

5.1.2. Parámetros físico-químicos

La ausencia del bosque primario también incide en el cambio de los parámetros físico químicos como la temperatura, el incremento de las zonas urbanas ha desplazado la vegetación aumentando la incidencia directa del sol incrementando su evaporación (Uribe, 2015). Los bajos caudales de agua alterarían más el ecosistema del río, la intervención está alterando la biodiversidad y equilibrio del ecosistema.

Tabla 7:

pH y temperatura del agua del río Tahuando en los puntos muestreo

Parámetro	Unidad	Puntos de muestreo						
		1	2	3	4	5	6	7
pH	-	7.72	7.66	7.92	8.11	8.18	7.58	8.14
Temperatura del Agua	°C	9.6	10	12.3	14.1	14.3	14.2	14.4

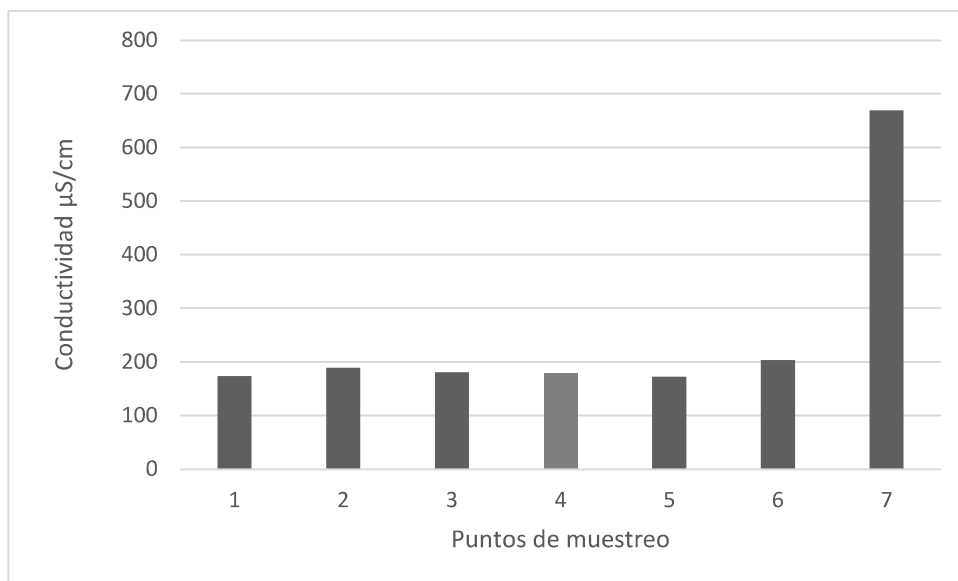
Nota: Se presentan los datos de pH y temperatura del agua.

Los resultados obtenidos en el pH son de 7.72 hasta 8.14 en la muestra inicial y final. El agua se vuelve con un pH básico. Los parámetros físicos químicos de pH y temperatura influyen en la calidad del agua, el aumento de temperatura permite que las sales se disuelvan y aumente también la conductividad eléctrica y afecta las condiciones del oxígeno disuelto mencionadas antes en el ensayo.

El agua presenta un incremento en su temperatura y en el pH, en ningún punto el agua supera los niveles establecidos en la Tabla 4 (Ministerio del Ambiente, 2015), encontrándose dentro de los criterios de calidad.

Figura 4:

Datos de la conductividad eléctrica en los siete puntos del río Tahuando



Los resultados obtenidos en el río sobre conductividad se ven claramente afectados en el último punto llegando a obtener valores de 669 $\mu\text{S/cm}$ ó 0.669 (milimhos/cm), cuando inicialmente su conductividad fue de 173.6 $\mu\text{S/cm}$ ó 0.173 (milimhos/cm).

Los criterios para conductividad eléctrica se mencionan en la Tabla 5 (Ministerio del Ambiente, 2015) tomando los criterios referentes a los parámetros de los niveles de calidad de agua para riego marcando como restricción moderada aquellos valores menores a 3.0 (milimhos/cm). Encontrándose el agua en el punto 7 con una restricción dentro de este conjunto de valores (restricción Ligera o Moderada)

Los niveles más altos presentes en el punto siete con una conductividad de 0.669 (milimhos/cm) por lo que se estima un aporte de salinidad y de materia orgánica proveniente de la zona urbana. Es notable el cambio que existe al percibirse un aumento en la conductividad siendo el origen con valores bajos y similares hasta el punto seis.

5.1.2.1. Determinación de Aceites Y Grasas

Para el análisis de porcentaje de grasas y aceites se utiliza el método análogo a la APHA 5520 -B.

Tabla 8:

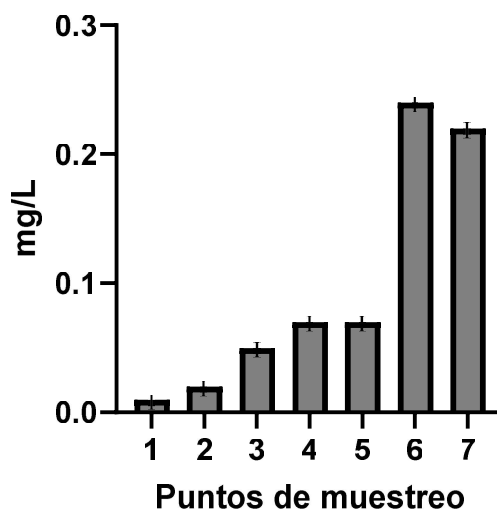
Concentración de aceites y grasas (A y G)

Parámetro	Unidad	Puntos de muestreo						
		1	2	3	4	5	6	7
Grasas y Aceites	mg/L	0.01	0.02	0.05	0.07	0.07	0.24	0.22

Nota: Se presentan los resultados en miligramos por litro de los aceites y grasas.

Figura 5:

Análisis de aceites y grasas en los 7 puntos de muestreo del río Tahuando



Nota: Esta imagen se realizó con la herramienta digital GraphPad Prism. 10.0.1

Se aprecia un considerable aumento en los puntos seis y siete, puede ser debido a la presencia de la zona urbana y el mal manejo de sus desechos domésticos, la falta de un alcantarillado en las zonas rurales también agrava las condiciones de vertidos (Alcaldía del Cantón San Miguel de Ibarra, 2021).

Tabla 9:

Análisis ANOVA sobre aceites y grasas en los 7 puntos de muestreo

ANOVA	
F (variación sig)	161.1
Valor P	<0.0001
Valor P resumido	****
Significancia (P<0.05)	Si
R cuadrado	0.9857

Nota: La configuración y resultados de la prueba Tukey de una vía se encuentran en Los resultados se expresan de forma más clara en los anexos.

El resultado de la prueba ANOVA revela que su existe una diferencia significativa entre los puntos. Para comparar entre si los puntos utilizamos una prueba Tukey. Los resultados revelan que la concentración en el punto 1 es significativamente diferente a la encontrada en el punto 6 y 7. Los resultados obtenidos entre los puntos 3, 4 y 5 no son significativamente diferentes entre sí. Sin embargo, los puntos 3, 4 y 5 si son diferentes cuando los comparamos con el punto 6 y 7.

Podemos decir que los puntos seis y siete contienen significativamente una mayor concentración de aceites y grasas respecto al resto, el punto de origen y el segundo contienen una concentración sin diferencia significativa. Sin embargo, ninguno de estos valores

sobrepasa la norma establecida de un límite máximo para en 0.3 mg/L en la Tabla 3 (Ministerio del Ambiente, 2015) además se menciona los Hidrocarburo Totales de Petróleo que no deben superar los 0.05 mg/L.

La alteración que sufre el ecosistema es significativa, especialmente en los puntos más cercanos a la zona urbana, este vertido de desechos afecta a las bacterias que tienen la capacidad de absorber y acumular compuestos tóxicos lo que puede resultar en la transferencia y acumulación de toxinas a lo largo de la cadena alimentaria, afectando al ser humano cuyas actividades están directamente ligadas al ambiente.

No se detectó ninguna película en la superficie que impide la oxigenación adecuada del agua. Esta película puede afectar negativamente a la vida acuática, incluyendo peces, plantas y microorganismos (Carceller, 1998)., los anfibios son la especie más sensible ya que muchos de ellos requieren oxígeno disuelto en el agua para sobrevivir (Uribe, 2015).

5.2. Análisis biológicos y toxicológicos

El aumento de personas y cambio climático aumenta la demanda, escases y contaminación del agua, la falta de acceso a servicios básicos lleva a personas a extraerlo directamente del afluente para fines domésticos, estas fuentes ubicadas a las orillas del río afectan negativamente salud pública y agrava la crisis sanitaria (Llain y Hawkins, 2020). El resultado del continuo lavado de contaminantes genera preocupación en las cuencas bajas donde se acumula y representa un riesgo.

5.2.1. Bioensayo en Lechuga (*Lactuca sativa*).

Las pruebas de germinación que se llevaron a cabo nos permitirán conocer el efecto sobre la germinación vegetal. Esta especie muy sensible a los cambios y su manejo también contempla fines agrícolas y comerciales en Imbabura. Para los fines del ensayo se agrega otra variable siendo el agua cruda, en este caso se la expresa como el punto 8.

Tabla 10:

Promedio de elongación de la radícula

PUNTO	Longitud Promedio. (cm)	GRS (%)	CRR (%)	IG (%)	IGN	IER
1	1.9	87.5	97.8	85.6	-0.12	-0.04
2	2.3	81.3	114.2	92.8	-0.18	0.14
3	2.0	93.8	100	94.6	-0.06	0.00
4	1.9	100	95.6	95.5	0	-0.04
5	2.2	75	111.3	83.5	-0.25	0.11
6	1.6	106.3	82.2	87.3	0.06	-0.17
7	2.6	93	129.5	121.5	-0.06	0.29
8	2.0	100	100	100	0	0

Nota: Los puntos de muestreo, longitud de la radícula (cm), GRS: Germinación Relativa Semillas, CRR: Crecimiento relativo de radícula, IG: índice de germinación, IGN: Índice de elongación normalizado y IER: Índice de elongación residual radical normalizado.

Los valores nos ayudan comprender las características toxicológicas que ejerce el río sobre semillas de lechuga. Los valores de GRS son menores en punto cinco con un 75%. En el resto de los puntos se mantiene entre 80 y 100%; el CRR tiene como menor valor el 82.2 % registrado en el punto seis.

Los valores que representan la toxicidad presente serán los valores índices del IGN e IER que establecen valores de toxicidad desde -1 a > 0. Empezamos por los valores de IGN donde encontramos que el valor es de 0.25, ubicándose en el límite entre la toxicidad baja y toxicidad moderada. El resto de los puntos presenta niveles dentro del rango de 0 a -0.25 baja toxicidad.

Los resultados para IER se encuentran dentro del límite de baja toxicidad tomando como referencia el índice de 0 a -0.25 (Rodríguez et al., 2014). El río no presenta niveles de toxicidad elevados para la especie, los datos demuestran que para la germinación solo el

punto cinco se presenta en el límite de la categoría con -0.25 y en la elongación de la radícula ningún dato supera el índice de -0.25 por lo tanto tiene una toxicidad baja.

El ensayo demuestra que el agua no supera los niveles de una toxicidad baja en ninguno de los puntos lo que la hace adecuada para el uso y aprovechamiento agrícola que es una de las principales actividades en la provincia de Imbabura (Alcaldía del Cantón San Miguel de Ibarra, 2021). Sin embargo, las actividades agrícolas pueden verse afectadas después del punto siete al encontrarse con más ciudades y fuentes de contaminación

5.2.2 Cultivo microbiológico

El análisis de *Escherichia coli* (*E. coli*), nos arroja resultados sobre la presencia de esta bacteria en el agua, este parámetro de contaminación está relacionado directamente con la materia orgánica, animales y aguas de origen doméstico. La cantidad de *E. coli* en el agua ocasiona que ésta deje de ser potable y acumule toxinas. Esta bacteria puede llegar a los cultivos o zonas de conservación.

Tabla 11:

Determinación del NMPC en los 7 puntos de muestreo

Parámetro	Unidad	Puntos de muestreo						
		1	2	3	4	5	6	7
<i>E coli</i>	UFC/ml	37	170	420	530	MNPC	MNPC	MNPC

Nota: La tabla muestra el número más probable de *E. coli*. UFC/ml; Unidad Formadora de Colonia sobre Mililitro. MNPC: Muy Numerosas Para Contar.

Los valores de coliformes contados empiezan siendo bajos, a partir del punto 5 los las enterobacterias presentes son muy numerosas, por lo que se recomienda hacer diluciones, lo que significa una gran cantidad de UFC/ml presentes en el agua. La contaminación causada por esta bacteria se convierte en un problema de salud pública, la población más vulnerable

cuyo acceso al agua potable es limitado buscarían en el río una respuesta, el problema se agrava con crisis como la migración forzada y el cambio climático (ACNUR, 2021).

En Ibarra es creciente el número de personas que requieren de un suministro de agua potable, las infraestructuras donde se inicia con el proceso de captación y almacenamiento son visibles cerca del punto 1 “La Rinconada”, donde el agua tiene condiciones óptimas para la potabilización. La afectación llega a ciudades que se encuentren bajo el punto seis y siete tienen que lidiar con una microbiológica que rompe la norma y genera problemas para potabilizar el agua del río.

Las principales vías de transmisión de *E. coli* tóxica incluyen el consumo de alimentos crudos o insuficientemente cocidos, especialmente carne de res contaminada, productos lácteos no pasteurizados, agua contaminada y productos vegetales que han estado en contacto con agua o superficies contaminadas. (ACNUR, 2021). Ya desde varias décadas se habla de enfermedades hídricas causadas por problemas sanitarios que proyectan la importancia de este análisis.

El aumento de producción de patógenos acuáticos y biotoxinas pueden poner en riesgo la seguridad de los alimentos. Todos estos peligros están presentes en mayor medida sobre el agua dulce ya que es la más utilizada (Feo et al., 2009). La falta de autodepuración y caudal hace incontrolable la eficiencia de los sistemas de desagüe empeorando la disponibilidad de agua dulce.

El cambio climático y la migración también forman parte de la población que demanda agua potable, la presión o desconocimiento terminan por hacer que se utilice agua no tratada, como consecuencia esto se vuelve un problema de salud pública y crisis sanitaria (Llain y Hawkins, 2020). Las toxinas presentes por microorganismos pueden formar cuadros de desnutrición infantil y enfermedades parasitarias.

5.2.3. Pruebas de Toxi-ChromoTest

La presión ambiental y antrópica afecta la microbiología de las unidades taxonómicas presentes en los ríos y estuarios. Los efectos meteorológicos o la época del año son factores que toman más relevancia.

El análisis se realizó tomando como referencia el cambio de color de las muestras en la microplaca. La microplaca constó de 96 celdas las cuales se subdividen en columnas identificadas con números y filas identificadas con letras.

La fila 1 y 2 se utilizará como referencia siendo la primera que cuenta con las condiciones más favorables para los microorganismos y la segunda con componente tóxico en este caso cloruro de mercurio HgCl_2 .

Figura 6:

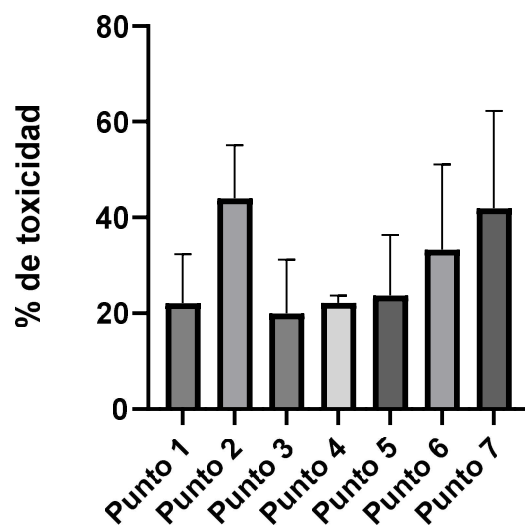
Lectura de absorbancia a los puntos de análisis del río Tahuando



Nota: El análisis se realiza una vez transcurrido el tiempo estimado en la incubadora en condiciones ideales.

Figura 7:

Porcentaje de toxicidad sobre los puntos de análisis del río Tahuando



Para analizar los resultados calculamos el porcentaje de toxicidad, basado en fotometría para obtener la “Minimal Inhibitory Concentration” (MIC) considerada a partir del 20%. Aquellos valores que superen este porcentaje se consideran con presencia de un agente tóxico en el agua, cualquiera que este sea provoca toxicidad en los microorganismos. En este caso varios puntos superan la MIC.

Tabla 12:

Toxicidad sobre microorganismos presentes en el agua del río Tahuando

Parámetro	Unidad	Puntos de muestreo						
		1	2	3	4	5	6	7
Toxicidad	%	22.12	43.98	19.94	22.13	23.66	32.23	41.91

Nota: Porcentaje de toxicidad.

El análisis del espectrofotómetro arroja resultados de mayor absorbancia en los puntos dos y siete. Esta contaminación cerca al origen podemos hablar del punto de muestreo y la cercanía con una fuente clandestina de descarga, las cuales son mencionadas por las autoridades. El punto seis también presenta un aumento en la toxicidad.

Se demuestra que la taxonomía de los microorganismos se ve afectada cerca a la fuente en el punto 2, identificando un vertido puntual de contaminación o actividades industriales y pecuarias. La zona poblada de Ibarra provoca vertidos de desechos que pueden estar aumentando los niveles de toxicidad en el río; existiendo un riesgo para la conservación del sistema lótico.

Los registros de las actividades no especifican ninguna forma de contaminación proveniente de actividades industriales dañinas que liberen exclusivamente material tóxico al río Tahuando (Alcaldía del Cantón San Miguel de Ibarra, 2021), el factor más crucial y evidente según la información recabada es la pérdida de vegetación nativa en sus orillas (zona de amortiguamiento), el vertido de aguas domésticas sin tratamiento y con alto contenido de materia orgánica forma parte de los problemas plasmados.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

- La concentración de grasas y aceites en el río Tahuando se incrementa en función de la presión antrópica, es así que el punto 1 no hay presencia cuantificable por el método APHA 5520 - B mientras que en los puntos siguientes se evidencia un aumento considerable, especialmente en los puntos 6 y 7 con 0.24 y 0.22 mg/L respectivamente.
- La evaluación de toxicidad en lechuga revela que el Índice de Germinación Normalizada en el punto de muestreo cinco se encuentra en el límite de la toxicidad baja y toxicidad moderada de 0.25. El Índice de Elongación Radicular no presenta datos que representen peligro, por tanto, la toxicidad es baja en todos los puntos.
- La presencia de *E. coli* en los puntos seis y siete presenta un crecimiento masivo y revela la existencia de materia orgánica. El agua de esta manera acumula organismos patógenos y toxinas por lo que su uso es cuestionable para fines agrícolas o pecuarios, peor aún con fines de consumo humano.
- Existen zonas del río donde el vertido de agua contaminada afecta la calidad y microbiota del sistema lótico. En los puntos 2, 6 y 7 existen valores de toxicidad del 43.98, 32.23 y 41.91 % respectivamente, por lo que el agua del río Tahuando en estos puntos se consideran químicamente nocivos para el microbiota acuático.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

- Continuar con el análisis de los puntos con el fin de almacenar más información sobre el funcionamiento de la cuenca a través del tiempo.
- Ampliar los puntos en el recorrido principal y secundario, tomando en cuenta aquellos remanentes y quebradas que alimentan el río Tahuando.
- Realizar ensayos toxicológicos con organismos que sean parte de la integridad ecológica del río., como macroinvertebrados.
- Caracterizar la diversidad de microorganismos mediante ensayos de DGGE para conocer la evolución, migración o pérdida de unidades taxonómicas en el tiempo y condiciones.
- Considerar el aumento de un punto de muestreo entre el La Victoria y Los Cañaverales, punto 6 y 7 respectivamente.

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3M. (2019). *Hoja de datos de seguridad*.

https://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=SSSSSuUn_zu8lz9xl8_xO82elv70m17zHvu9lxUb7SSSSSS--

ACNUR. (2021). *Estrategia operativa para la resiliencia climática y la sostenibilidad medioambiental 2022-2023*. https://www.acnur.org/media/estrategia-operativa-para-la-resiliencia-climatica-y-la-sostenibilidad-medioambiental-2022?_gl=1%2A1iwxy5%2A_rup_ga%2AMTIwMTU4ODcyNy4xNjkxNTg2MjU1%2A_rup_ga_EVDQTJ4LMY%2AMTY5MTY0MjkwNC4zLjEuMTY5MTY0MjkwNy4wLjAuMA..%2A_ga%2AMTI

Acosta, A., y Martinez, E. (2010). *El agua, un derecho humano fundamental*. Quito: Abya Yala. .

Acosta, G., Carrillo, V., y Caballero, A. (2022). *Microplásticos en el agua y organismos*. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/73_2/PDF/04_73_2_1431_Microplasticos_Agua.pdf

Alcaldía del Cantón San Miguel de Ibarra. (2021). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón San Miguel de Ibarra 2020-2040*. <https://www.ibarra.gob.ec/site/docs/lotaip2021/anexos/s/PDOT%202020-2040%20CANTON%20SAN%20MIGUEL%20DE%20IBARRA.pdf>

APHA-AWWA-WEF. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition*. <https://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/1326.pdf>

Arbeláez, P. (2015). *Contaminantes emergentes en aguas residuales y de río y fangos de depuradora*. <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/334397/Tesi%20Paula.pdf>

Arellano, D., y Guzmán, E. (2011). *Ingeniería Ambiental*. Mexico: Alfaomega.

Arguello, M. (2018). *Evaluación de la toxicidad del agua de la cuenca del río Guayllabamba mediante bioensayos con Lactuca sativa*. <https://doi.org/https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/9839/1/UDLA-EC-TIAM-2018-34.pdf>

- Bernabé, V. (2007). *Caracterización y determinación de surfactantes y otros componentes en control de limpieza con aplicación en control de calidad de formulaciones industriales*. <https://core.ac.uk/download/pdf/70998373.pdf>
- Bianco, M. J. (2016). *Caracterización de β -galactosidasa estructurada en cuerpos de inclusión*. <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/17233/13887%20tesis%202017%20Bianco%20Maria%20Jose.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Brea, J. D., y Balocchi, F. (2010). *Procesos de erosión y sedimentación en cauces y cuencas. UNESCO Office Montevideo and Regional Bureau for Science in Latin America and the Caribbean*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000216338>
- Carceller, J. (1998). *Los fenómenos del "bulking" y "foaming" en las estaciones depuradoras de aguas residuales*. http://www.bibliotecagbs.com/archivos/ta_179_1.pdf
- Cotler, H., Galindo, A., y Gonzáles, I. (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/Cuencas_final_2014.pdf
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. F., y Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA).
- EBPI. (2023). *Embiromental bio-detection products inc*. <https://www.biotoxicity.com/index.php/ebpi-toxicity-tests/acute-toxicity/toxi-chromotest-kit>
- Enviromental Bio-detection Products Inc. (s.f.). *Muta-ChromoPlate™ Basic Kit*. <https://biotoxicity.com/index.php/ebpi-toxicity-tests/ames-tests/muta-chromoplate-basic-kit>
- Escobar, A. (2023). *Evaluación de microplásticos en el agua del rio Tahuando-Cantón Ibarra*. Ibarra.
- FAO. (2012). *Estado de los recursos de aguas y tierras del mundo para alimentación y agricultura*. <https://www.fao.org/3/ca1825es/ca1825es.pdf>

- Feo, O., Solano, E., Beingolea, L., Aparicio, M., Villagra, M., Prieto, M., . . . Silveti, R. (2009). *Cambio climático y salud en la región andina*.
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342009000100016
- Fonseca, V. (2013). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para la central ecuatoriana de servicios agrícolas - Riobamba 2013*.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3393/1/236T0090.pdf>
- Fundación Nacional de Salud. (2014). *Manual práctico de análisis de agua/Fundación Nacional de Salud*.
https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_practico_analisis_agua_4_ed.pdf
- Gil, M., Soto, M., Usma, I., y Gutiérrez, D. (2012). *Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos*. <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n2/v7n2a05.pdf>
- Gómez, A. (2020). *Caracterización de una cuenca: principios y métodos*.
<https://www.riego.mx/files/webinars/webinar04.pdf>
- Guhl, E. (2010). *El agua de los Andes*.
https://www.comunidadandina.org/StaticFiles/OtrosTemas/MedioAmbiente/AGUA_DE_LOS_ANDES.pdf
- IDEAM. (2007). *Determinación de grasas y aceites en aguas por el método SOXHLET*.
<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/tph+por+m%C3%A9todo+Soxhlet..pdf/15096580-8833-415f-80dd-ceaa7888123d>
- Jaramillo, F., Rincón, A., y Posadas, F. (2006). *Toxicología básica*.
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/56290756/Toxicologia_basica_-_Jaramillo.pdf?1523417761=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DToxicologia_basica_Jaramillo.pdf&Expires=1683243107&Signature=Jrm00~pgUFLzLJIqZ0xmO-MF~vYbRYJQOCnfJmDyMXRuCEe0T
- Llain, S., y Hawkins, C. (2020). *Cambio climático y migración forzada*.
<https://doi.org/10.33679/rmi.v1i1.1846>
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Acuerdo Ministerial No. 028*.
<http://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2010/05/Libro-VI-Calidad-Ambiental.pdf>

- ONU. (s.f.). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Paredes, P. (2019). *Fitorremediación con Lemna minor y Zantedeschia aethiopica en piscinas biodigestoras para mejorar la calidad del agua del Río Jatun Yaku del Cantón Otavalo*. Ibarra.
- Peña, E. (2007). *Trabajo de investigación oxígeno disuelto (OD)*.
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6162/5/Investigacion.pdf>
- Perugachi, M., y Cachipiendo, C. (2020). *Lucha por el agua*.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18748/4/LA%20LUCHA%20POR%20EL%20AGUA.pdf>
- Ramírez, P., y Mendoza, A. (2008). *Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas en agua y suelo La experiencia en México*.
http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/ensayo_toxicologico.pdf
- Reutelshöfer, T., y Guzmán, L. (2015). *Guía para la toma de muestras de agua residual*. La Paz: PERIAGUA.
- Rodríguez, A., Robles, A., Ruiz, R., López, E., Sedeño, E., y Rodríguez, A. (2014). *Índices de germinación y elongación radical de Lactuca sativa en el biomonitorio de la calidad del agua del río Chalma*.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000300007
- Ruiz, H. (2014). *Prácticas de análisis fisicoquímicos de laboratorio para control de procesos*.
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS2004/CapituloIII/4Practicasdeanalisfisicoquimicosdelaboratorio.pdf>
- Sáenz, C. (2020). *Microplásticos en la biota de los ríos andinos*.
<http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/12051>
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2017). *Plan Nacional para el Buen Vivir 2017-2021*. Quito: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.
- SENAGUA. (2016). *Estrategia nacional de calidad del agua*.
<https://www.controlsanitario.gob.ec/wp->

content/uploads/downloads/2019/05/Estrategia-Nacional-de-Calidad-del-Agua_2016-2030.pdf

Severiche, A., Castillo, M., y Acevedo, L. (2013). *Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros físicoquímicos básicos en aguas*.
<https://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/1326.pdf>

Stahl, F. (1967). *Mecánica de la herencia*. UTEHA.

Téllez, A. (2016). *Química ambiental*. <http://pridca.csuca.org/images/Noticias/A3/Libro---Quimica-Ambiental.pdf>

Terán, B. (2021). *Plan de manejo ambiental para la cuenca alta del río Tahuando, Cantón Ibarra, provincia de Imbabura*.
<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/11162/2/PG%20829%20TRABAJO%20GRADO.pdf>

Uribe, E. (2015). *EL cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina*.
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39855/S1501295_en.pdf?sequence=1

Yépez, L. (2018). *Recuperación de las riberas del río Tahuando en el tramo de Romerillo*.
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/16502>

ANEXOS

Anexo 1:

Grupo de investigación



Anexo 2:

Recolección de muestras Punto 1



Anexo 3:

Recolección de muestras Punto 2



Anexo 4:

Recolección de muestras Punto 3



Anexo 5:

Recolección de muestras Punto 4



Anexo 6:

Recolección de muestras Punto 5



Anexo 7:

Recolección de muestras Punto 6



Anexo 8:

Recolección de muestras Punto 7



Anexo 9:

Práctica de crecimiento en semillas



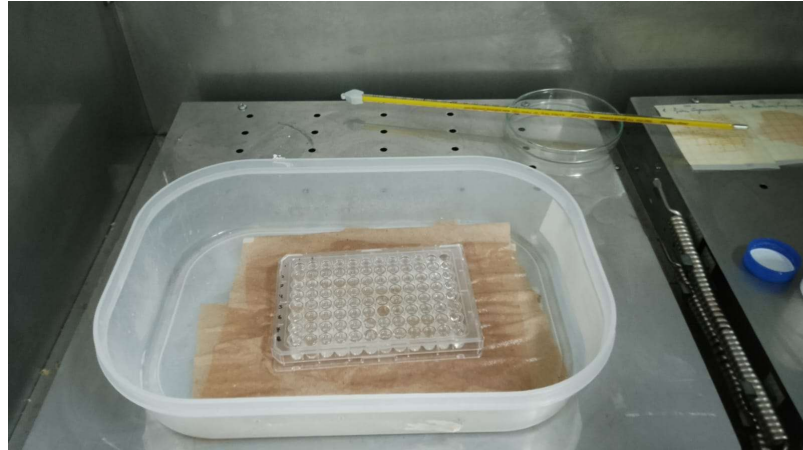
Anexo 10:

Extracción de aceites y grasas



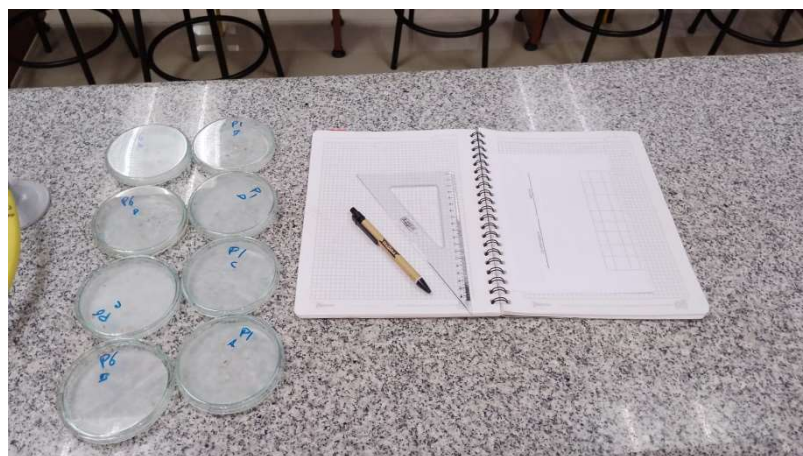
Anexo 11:

Análisis Toxi-ChromoTest.



Anexo 12:

Medida y conteo de semillas



Anexo 13:

Análisis de laboratorio



Anexo 14:

Evaluación Tukey referente a Aceites y Grasas

Comp- Mul.	Dif. media	95,00% CI	U	Resumen	Valor P. Ajust.
Punto 1 vs. Punto 2	-0,006667	-0,04214 to 0,028	No	ns	0,9939
Punto 1 vs. Punto 3	-0,03667	-0,07214 to -0,0011	Yes	*	0,0407
Punto 1 vs. Punto 4	-0,05667	-0,09214 to -0,021	Yes	**	0,0013
Punto 1 vs. Punto 5	-0,05667	-0,09214 to -0,021	Yes	**	0,0013
Punto 1 vs. Punto 6	-0,2267	-0,2621 to -0,1912	Yes	****	<0,0001
Punto 1 vs. Punto 7	-0,2067	-0,2421 to -0,1712	Yes	****	<0,0001
Punto 2 vs. Punto 3	-0,03	-0,06547 to 0,0054	No	ns	0,1244
Punto 2 vs. Punto 4	-0,05	-0,08547 to -0,014	Yes	**	0,004
Punto 2 vs. Punto 5	-0,05	-0,08547 to -0,014	Yes	**	0,004
Punto 2 vs. Punto 6	-0,22	-0,2555 to -0,1845	Yes	****	<0,0001
Punto 2 vs. Punto 7	-0,2	-0,2355 to -0,1645	Yes	****	<0,0001
Punto 3 vs. Punto 4	-0,02	-0,05547 to 0,0154	No	ns	0,4966
Punto 3 vs. Punto 5	-0,02	-0,05547 to 0,0154	No	ns	0,4966
Punto 3 vs. Punto 6	-0,19	-0,2255 to -0,1545	Yes	****	<0,0001
Punto 3 vs. Punto 7	-0,17	-0,2055 to -0,1345	Yes	****	<0,0001
Punto 4 vs. Punto 5	0	-0,03547 to 0,0354	No	ns	>0,9999
Punto 4 vs. Punto 6	-0,17	-0,2055 to -0,1345	Yes	****	<0,0001
Punto 4 vs. Punto 7	-0,15	-0,1855 to -0,1145	Yes	****	<0,0001
Punto 5 vs. Punto 6	-0,17	-0,2055 to -0,1345	Yes	****	<0,0001
Punto 5 vs. Punto 7	-0,15	-0,1855 to -0,1145	Yes	****	<0,0001
Punto 6 vs. Punto 7	0,02	-0,01547 to 0,0554	No	ns	0,4966

Nota: Este anexo se realizó con la herramienta digital GraphPad Prism. 10.0.1. Donde:

Comp. Mul: Comparación múltiple, Dif. Media.: Diferencia Media, 95,00% CI: Sobre la posibilidad que el parámetro real se encuentre dentro del conjunto. U: Umbral. Resumen: Resumen significativo, Valor P Ajust: El valor ajustado P.

Anexo 15:

Prueba Tukey referente a Oxígeno disuelto (OD)

Comp- Mul.	Dif. media	95,00% CI	U	Resumen
Punto 1 vs. Punto 2	6,333	-7,714 to 20,38	No	ns
Punto 1 vs. Punto 3	-11,87	-25,91 to 2,181	No	ns
Punto 1 vs. Punto 4	-10	-24,05 to 4,048	No	ns
Punto 1 vs. Punto 5	-7,433	-21,48 to 6,614	No	ns
Punto 1 vs. Punto 6	2,3	-11,75 to 16,35	No	ns
Punto 1 vs. Punto 7	-4,467	-18,51 to 9,581	No	ns
Punto 2 vs. Punto 3	-18,2	-32,25 to -4,152	Yes	**
Punto 2 vs. Punto 4	-16,33	-30,38 to -2,286	Yes	*
Punto 2 vs. Punto 5	-13,77	-27,81 to 0,2810	No	ns
Punto 2 vs. Punto 6	-4,033	-18,08 to 10,01	No	ns
Punto 2 vs. Punto 7	-10,8	-24,85 to 3,248	No	ns
Punto 3 vs. Punto 4	1,867	-12,18 to 15,91	No	ns
Punto 3 vs. Punto 5	4,433	-9,614 to 18,48	No	ns
Punto 3 vs. Punto 6	14,17	0,1190 to 28,21	Yes	*
Punto 3 vs. Punto 7	7,4	-6,648 to 21,45	No	ns
Punto 4 vs. Punto 5	2,567	-11,48 to 16,61	No	ns
Punto 4 vs. Punto 6	12,3	-1,748 to 26,35	No	ns
Punto 4 vs. Punto 7	5,533	-8,514 to 19,58	No	ns
Punto 5 vs. Punto 6	9,733	-4,314 to 23,78	No	ns
Punto 5 vs. Punto 7	2,967	-11,08 to 17,01	No	ns
Punto 6 vs. Punto 7	-6,767	-20,81 to 7,281	No	ns

Nota: Donde: Comp. Mul: Comparación múltiple, Dif. Media.: Diferencia Media, 95,00%

CI: Sobre la posibilidad que el parámetro real se encuentre dentro del conjunto. U: Umbral.

Resumen: Resumen significativo.