Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Sede Ibarra

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES

INFORME FINAL DEL PROYECTO

TEMA:

Evaluación de la Concentración de Cromo Hexavalente en el Rio Ambi Tramo Parroquia San Luis de Imbaya, Cantón Antonio Ante

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERA AMBIENTAL

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

Gestión sostenible y aprovechamiento de los recursos naturales

SUBLINEA: Ambiente y biodiversidad

AUTOR: LORENA LIZBETH POZO AGUINAGA

ASESOR: MSc. MORAIMA CRISTINA MERA AGUAS

Ibarra, febrero 2024

Ibarra, 20 de febrero de 2024

MSc. Moraima Cristina Mera Aguas

ASESORA

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)……

MSc. Moraima Cristina Mera Aguas

C.C.: 100174372-1

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)……

MSc. Moraima Cristina Mera Aguas

C.C.: 100174372-1



(f)……

MSc. Santiago Mafla

C.C.: 100265839-9



(f)……

PhD. Rubén del Toro

C.C.: 175754447-1

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo LORENA LIZBETH POZO AGUINAGA, 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, 20 de febrero del 2024

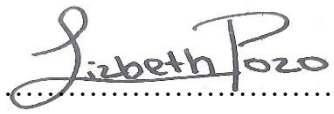
f): 

LORENA LIZBETH POZO AGUINAGA

C.C.: 100299695-5

AUTORÍA

Yo, LORENA LIZBETH POZO AGUINAGA, portador de la cédula de ciudadanía N° 100299695-5, 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 accione legales.

f): 
…….

LORENA LIZBETH POZO AGUINAGA

C.C.: 1002996955

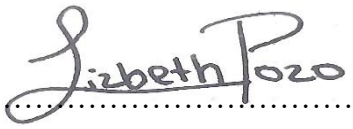
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, LORENA LIZBETH POZO AGUINAGA, con C.C.: 100299695-5, autor del trabajo de grado intitulado: EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CROMO HEXAVALENTE EN EL RIO AMBI TRAMO PARROQUIA SAN LUIS DE IMBAYA, CANTÓN ANTONIO ANTE 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 Pontifica 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, 20 de febrero del 2024

f): 
…….

LORENA LIZBETH POZO AGUINAGA

C.C.: 100299695-5

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

Por medio de la presente declaro conocer y aplicar en la elaboración, desarrollo y evaluación de Proyecto de Titulación: EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CROMO HEXAVALENTE EN EL RIO AMBI TRAMO PARROQUIA SAN LUIS DE IMBAYA, CANTÓN ANTONIO ANTE, 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 de 13 de febrero de 2023

Para constancia firma:

f): 

Lorena Lizbeth Pozo Aguinaga
Estudiante que ejecuta el trabajo de Titulación
C.C/ Pasaporte: 100299695-5
Carrera: Ingeniería Ambiental

Ibarra, 20 de febrero del 2024

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico principalmente a Dios quien ha sido mi guía y mi fortaleza en los momentos más difíciles, a mi madre y hermano que durante toda mi vida me han motivado a seguir adelante y a luchar por mis sueños, quienes me han brindado su apoyo en cada momento y sobre todo en mis decisiones que me han permitido lograr ser la persona que soy ahora, para ellos que han sido mi pilar y fuerza fundamental para mantenerme de pie y poder seguir adelante en cada meta que me he propuesto durante todo este tiempo.

A ti querido amigo que a pesar de tu ausencia me has acompañado en todo este tiempo, este logro no es solo mío, sino de los dos, gracias por brindarme de tu apoyo en todo momento.

Lorena Lizbeth

AGRADECIMIENTO

Desde lo más profundo de mi corazón quiero darte las gracias a ti madre, que con todos tus consejos, paciencia, sabiduría y amor han logrado guiarme, a ti, quien me apoyo en cada semestre a culminarlo de la mejor manera sin que llegue nunca a rendirme.

A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra que fue la que me formó para ser una buena profesional y me brindó su apoyo durante toda mi etapa universitaria, de la misma manera tengo muy presente el cariño que me han brindado los docentes de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales que gracias a sus conocimientos compartidos les debo todo lo que he aprendido durante este tiempo y gracias a ellos sé que llegare a ser una buena profesional y sabré compartirlo con el mundo.

A mi asesora MSc. Moraima Mera quien me ha apoyado desde el principio y me ha enseñado que soy capaz de lograr cualquier cosa que me proponga, quien con su paciencia y constancia me ha guiado en todo este proceso y nunca me ha dejo sola.

Finalmente, a mis amigos que siempre han formado parte de mi vida, quienes me han dado ánimos para no dejarme vencer y con quienes he compartido muchas experiencias que siempre ocuparan un lugar especial en mi corazón.

Lorena Lizbeth

ÍNDICE

PORTADA i
CERTIFICA: ii
PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL iii
ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS iv
AUTORÍA v
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN vi
DEDICATORIA viii
AGRADECIMIENTO ix
ÍNDICE x
ÍNDICE DE TABLAS xiii
ÍNDICE DE FIGURAS xv
ÍNDICE DE ANEXOS xvi
RESUMEN 1
ABSTRACT 2
CAPÍTULO I 3
INTRODUCCIÓN 3
CAPÍTULO II 5
OBJETIVOS 5
2.1. Objetivo general 5
2.2. Objetivos específicos 5
2.3. Pregunta directriz 5
CAPÍTULO III 6
ESTADO DEL ARTE 6
3.1. Antecedentes 6
3.2. Calidad del agua 7

3.2.1. Índice de calidad del agua (ICA) 8
3.3. Metales pesados en agua 10
3.3.1. Fuentes de contaminación de metales pesados en cuerpos de agua 10
3.4. Cromo 11
3.4.1. Propiedades y tipos de cromo 11
3.4.2. Comportamiento del cromo en el agua 12
3.4.3. Daños a la salud humana por exposición al cromo 13
3.5. Límites de cromo en cuerpos de agua 14
3.5.1. Normativas y estándares internacionales para la concentración de cromo en agua 14
3.6. Métodos de eliminación de cromo hexavalente en agua 15
3.6.1. Técnicas y procesos para la remoción de cromo del agua 15
3.7. Métodos de laboratorio para la determinación de Cr+6 18
CAPÍTULO IV 20
MATERIALES Y MÉTODOS 20
4.1. Fase 1: Investigación de campo 20
4.1.1. Materiales y Equipos 20
4.1.2. Método descriptivo 20
4.1.3. Descripción de la zona de estudio 21
4.2. Fase 2: Determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos 24
4.2.1. Materiales de laboratorio 24
4.2.2. Método Experimental 25
CAPÍTULO V 35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 35
5.1. Fase de Campo 35
5.1.1 Delimitación de los puntos de Muestreo 35
5.2. Fase de laboratorio 38
5.2.1. Análisis de los parámetros físico-químicos y biológicos 38
5.2.2. Índice de Calidad del Agua (ICA) 51

5.2.3. Evaluación de la Concentración de Cromo hexavalente 54
5.4. Discusión 56
5.5. Propuesta de reducción del cromo hexavalente en el Rio Ambi 59
CAPÍTULO VI 63
CONCLUSIONES 63
CAPÍTULO VII 64
RECOMENDACIONES 64
CAPÍTULO VIII 65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 65
ANEXOS 73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rangos permisibles del cromo en agua dulce 15

Tabla 2. Ventajas y desventajas de los métodos de remoción de cromo 17

Tabla 3. Materiales, equipos y software utilizado en la toma de muestras en campo y en el procesamiento de información 20

Tabla 4. Coordenadas de los puntos de muestreo 21

Tabla 5. Actividades económicas que se realizan por cantón 23

Tabla 6. Materiales y equipos de laboratorio 24

Tabla 7. Parámetros físico-químicos y microbiológicos evaluados. 27

Tabla 8. Factores de ponderación ICA-NSF utilizados en el estudio 33

Tabla 9. Escala de clasificación del ICA-NSF 34

Tabla 10. Observación de los puntos de muestreo 36

Tabla 11. Variación de la temperatura del agua de la zona de estudio 39

Tabla 12. Concentración de Oxígeno Disuelto del agua de la zona de estudio 40

Tabla 13. Porcentaje de saturación del agua de la zona de estudio 41

Tabla 14. pH de agua de la zona de estudio 42

Tabla 15. Turbidez del agua de la zona de estudio 42

Tabla 16. Conductividad eléctrica, del agua de la zona de estudio. 43

Tabla 17. Solidos Disueltos Totales del agua de la zona de estudio 44

Tabla 18. Demanda Bioquímica de Oxigeno del agua de la zona de estudio 45

Tabla 19. Nitratos del agua de la zona de estudio 46

Tabla 20. Fosfatos del agua de la zona de estudio 47

Tabla 21. Coliformes fecales totales del agua de la zona de estudio 48

Tabla 22. Parámetros físico-químicos y biológicos 49

Tabla 23. Parámetros físico-químicos y biológicos 50

Tabla 24. Resultados ICA, primer punto 51

Tabla 25. Resultados del ICA, segundo punto 51

Tabla 26. Resultados del ICA, tercer punto 52

Tabla 27. Resultados del ICA, cuarto punto 52

Tabla 28. Resultados del ICA, quinto punto 53

Tabla 29. Resultados del ICA de los cinco puntos, promedio total..... 54

Tabla 30. Resultados de la concentración de Cromo hexavalente en cada punto de muestreo comparados con la normativa Acuerdo Ministerial 097, ANEXO 1, TABLA 2 Y 3..... 54

Tabla 31. Resultados del ICA de los cinco puntos, promedio total en comparación con la normativa Acuerdo Ministerial 097, ANEXO 1, TABLA 2 Y 3 56

Tabla 32. Programa de Monitoreo y Evaluación Continua 60

Tabla 33. Programa de Control de Fuentes de Contaminación 61

Tabla 34. Programa de Sensibilización y Educación Ambiental..... 62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio..... 22

Figura 2. Ubicación Geográfica de los laboratorios utilizados 26

Figura 3. Mapa uso de suelo 35

Figura 4. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo..... 38

Figura 5. Variación de la Temperatura, en la zona de estudio. 39

Figura 6. Oxígeno disuelto en la zona de estudio. 40

Figura 7. % de saturación, en la zona de estudio. 41

Figura 8. pH, en la zona de estudio. 42

Figura 9. Turbidez, de la zona de estudio. 43

Figura 10. Conductividad eléctrica, de la zona de estudio. 44

Figura 11. SDT, de la zona de estudio 45

Figura 12. DBO, de la zona de estudio 46

Figura 13. Variación de nitratos de la zona de estudio 47

Figura 14. Variación de fosfatos de la zona de estudio..... 48

Figura 15. Valores del ICA de cada uno de los puntos de muestreo..... 53

Figura 16. Variación del Cromo hexavalente en la zona de estudio 55

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Fase de Campo 73

Anexo 2. Fase de Laboratorio 75

Anexo 3. Interpolación de Cr^{+6}, primer muestreo 76

Anexo 4. Interpolación de Cr^{+6}, segundo muestreo 77

Anexo 5. Interpolación de Cr^{+6}, tercer muestreo 78

RESUMEN

El cromo es un metal pesado conocido por sus potenciales impactos negativos en la salud humana y el medio ambiente, y su evaluación en fuentes de agua como ríos, es esencial para comprender y abordar posibles riesgos. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la presencia y cantidad de cromo hexavalente en el Rio Ambi Tramo Parroquia San Luis de Imbaya, Cantón Antonio Ante. Para ello se establecieron objetivos específicos que guiaron a la metodología de la investigación. En primer lugar, se buscó "Determinar la calidad del agua del río Ambi mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos". Este objetivo implicó la recolección de muestras de agua en cinco puntos del tramo para llevar a cabo un análisis exhaustivo, proporcionando una evaluación completa de la calidad del agua, abarcando aspectos fisicoquímicos y microbiológicos. El segundo objetivo específico fue "Establecer un plan de acción para la reducción de la concentración de cromo hexavalente en el río Ambi para esto requirió la identificación de posibles fuentes de contaminación y la formulación de un plan práctico para mitigar los efectos negativos. Como resultados, se obtuvo concentraciones altas de cromo hexavalente en los 5 puntos de muestreo con un promedio total de 0.21 mg. L^{-1} en la zona de estudio. Además, se registraron altos niveles de DBO_5, fosfatos y coliformes fecales totales que sobrepasaron los valores máximos permisibles dados por el Acuerdo Ministerial 097. Generalmente la contaminación del rio Ambi se da por actividades antrópicas y naturales, debido a la presencia de actividad industrial, textil, uso inadecuado de fertilizantes, descargas de aguas residuales, desechos inorgánicos, deslizamientos del suelo, cambio climático, entre otras. Frente a esta situación, se propusieron tres programas: uno centrado en el muestreo y evaluación continua, el segundo basado en el control de las fuentes de contaminación, seguido por la sensibilización y educación ambiental.

Palabras clave: Contaminación del agua**,** cromo hexavalente, Índice de calidad del agua, rio Ambi.

ABSTRACT

Hexavalent chromium is a heavy metal known for its potential negative impacts on human health and the environment, and its evaluation in water sources such as rivers is essential to understand and address potential risks. The objective of this investigation was to evaluate the presence and amount of hexavalent chromium in the Ambi River, San Luis de Imbaya, Antonio Ante. For this purpose, specific objectives were established that guided the research methodology. First of all, we sought to "Determine the quality of the water of the Ambi River through physicochemical and microbiological analyses." This objective involved the collection of water samples at five points along the stretch to carry out an exhaustive analysis, providing a complete evaluation of water quality, covering physicochemical and microbiological aspects. The second specific objective was "Establish an action plan for the reduction of the concentration of hexavalent chromium in the Ambi River. This involves the identification of possible sources of contamination and the formulation of a practical plan to mitigate the negative effects. As results, high concentrations of hexavalent chromium were obtained at the 5 sampling points. In addition, high levels of BOD, phosphates and total fecal coliforms were recorded that exceeded the maximum permissible values according to Ministerial Agreement 097. Generally, the contamination of the Ambi River occurs due to anthropogenic and natural activities, due to the presence of industrial activity, textiles, inappropriate use of fertilizers, wastewater discharges, inorganic waste, landslides, climate change, among others. Faced with this situation, three programs were proposed: one focused on sampling and continuous evaluation, the second based on the control of pollution sources and followed by environmental awareness and education.

Keywords: Water pollution, Hexavalent chromium, Water quality index, Ambi river.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los ríos y arroyos son los componentes más importantes del ecosistema, ya que forman el medio del ciclo de energía y materia entre los sistemas ecológicos terrestres y acuáticos (Liu et al., (2020). No obstante, en los últimos años, varios cuerpos de agua dulce se han visto afectados por diferentes procesos inducidos por el hombre, incluida la contaminación y la degradación del hábitat (Keke et al., (2021).

Ecuador, presenta una alta prevalencia de ríos contaminados, como lo revela un estudio efectuado en el año 2020, en el cual, se obtuvo que de los 12 ríos analizados todos se encuentran contaminados con bacterias y componentes químicos (Dávalos, 2021). Destacando que, entre las principales causas relacionadas con la contaminación de los cuerpos de agua, se encuentran las descargas de aguas residuales, desechos industriales y el vertimiento de los desechos tóxicos (Baquerizo et al., 2019). Desafortunadamente, desde el año 2015, se ha registrado un incremento de no cumplir con los límites permisibles dados por la normativa vigente TULSMA, particularmente en el entorno rural, identificado como uno de los sectores más perjudicados según datos proporcionados por la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA, 2016) en Ecuador.

El río Ambi tiene su origen en el lago San Pablo, situado al suroeste fuera de los límites del cantón, a una altitud de 2300 metros sobre el nivel del mar. Este río se extiende a lo largo de una longitud de 40,25 kilómetros, dentro de la cual se ubican cinco cantones, incluyendo Antonio Ante, Cotacachi, Ibarra y Otavalo. Es relevante señalar que aproximadamente 26 kilómetros de su recorrido atraviesan el cantón Antonio Ante. En su trayectoria aguas abajo, el río Ambi se convierte en un afluente del río Chota.

La presencia de contaminación en el rio Ambi, es debido principalmente a la disposición de desechos de diferentes características por parte de los pobladores cercanos (La hora, 2007). Así mismo en un estudio desarrollado por la Agencia Reguladora de Control del Agua (ARCA) y la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), se determinó que entre las causas de la contaminación de este río se encuentra la descarga de aguas residuales dado que la parroquia no dispone de plantas de tratamiento, también se vierte basura con químicos que son generadas por

las diferentes industrias textileras ubicadas en la ribera del río, sumado las malas prácticas en las actividades de tipo agrícolas y el uso excesivo y poco apropiado de agroquímicos, afectando las comunidades aledañas de Cotacachi, Otavalo y Antonio Ante (Ministerio de Agricultura y Ganaderia, s.f.). Destacando que SENAGUA señala que la población utiliza el agua del rio Ambi para riego principalmente, seguido de uso doméstico (GAD parroquia San Luis de Imbaya, 2015).

Considerando las diversas problemáticas, se propone implementar un plan de reducción de este contaminante, con el objetivo de mejorar la calidad del agua donde los distintos usuarios y comunidades que se encuentran a su alrededor puedan hacer un buen uso de la misma, contribuyendo así a la restauración del recurso hídrico. Por ende, en la presente investigación se evaluó la concentración de cromo hexavalente mediante el método espectrofotométrico, así como también el análisis de distintos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua, en los laboratorios de química, suelo y aguas de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar la concentración de cromo hexavalente en el río Ambi Tramo Parroquia San Luis De Imbaya

2.2. Objetivos específicos

- Determinar la calidad del agua del río Ambi mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos
- Establecer un plan de acción para la reducción de la concentración de cromo hexavalente en el río Ambi

2.3. Pregunta directriz

¿La concentración del Cromo Hexavalente en el agua del río Ambi Tramo Parroquia San Luis De Imbaya se encuentra dentro de los límites máximos permisibles de la normativa ambiental vigente?

CAPÍTULO III

ESTADO DEL ARTE

3.1. Antecedentes

En el estudio de Man & Chaurasia (2020) se basa en la recolección de 47 muestras del distrito de Unnao de Uttar Pradesh (India), en las que se analizaron el pH, la conductividad eléctrica, el cromo hexavalente y el cromo total. Se encontró que la concentración de Cr (VI) para uno de los sitios (Dharamkata) era de 2070 µg/l; el cual tiene una alta eficacia para contaminar los cauces no revestidos, provocando así la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Para remediar el problema, se utilizaron diferentes materiales de biorresiduos para la eliminación de Cr (VI). La concentración de Cr (VI) y Cromo total se determinaron por el método de Difenilcarbazida e ICP-OES. El cromo hexavalente es altamente oxidante por naturaleza y requiere materiales donantes de electrones para su reducción.

La investigación utilizó desechos biológicos como médula de coco, aserrín, cáscara de arroz y vermiculita (mineral natural) para reducir el cromo. Una muestra de efluente con una concentración de cromo de 184,8 mg/l se pasó a través de columnas con diferentes medios bioabsorbentes, de los cuales se encontró que la combinación de bioabsorbentes y vermiculita era más capaz de reducir el cromo hexavalente de la muestra. Se logra una notable disminución en la concentración de cromo total (184,8–4,48 mg/l) mediante la combinación de vermiculita y médula de fibra de coco. Esto muestra que los desechos naturales son muy probablemente los absorbentes de Cr (VI), que pueden usarse para disminuir las concentraciones de cromo del agua contaminada.

En el estudio de Utami et al. (2021) se evalúa el riesgo ecológico potencial del cromo hexavalente Cr (VI) y el dióxido de silicio/sílice (SiO2) en agua de pozo. Ambos contaminantes han sido clasificados como compuestos cancerígenos. La evaluación del riesgo ecológico del agua potable es una herramienta eficaz para evaluar la calidad del agua potable para reducir aún más el riesgo. Para lo cual, se recolectaron catorce muestras de agua de pozo alrededor del área residencial cerca de la actividad industrial del cemento y el área de minería kárstica. Estimación del riesgo ecológico del agua de pozo que se consume diariamente evaluada en función de la

relación Hazard Quotient (HQ). Obteniendo que, los valores medios de Cr (VI) y SiO2 en muestras de agua de pozo fueron 0,0017 mg/L y 12,94 mg/L, respectivamente. El agua potable en esta área es inaceptable. Los valores de cromo y SiO2 en todas las estaciones son superiores a 1 (nivel moderado). Concluyendo que, Cr (VI) y SiO2 son detectables dentro del agua de pozo que rodea el lugar de investigación. Este hallazgo se utiliza como dato científico y de referencia para la protección ecológica del agua potable en mares.

En Ecuador, se tiene el estudio efectuado por Castillo et al. (2021) titulado Cromo VI en Aguas de Consumo Humano y de Riego en el Cantón Guano, para lo cual se tomaron varias muestras y se procedió a comparar los resultados obtenidos con lo establecido en la OMS y las normas nacionales, señalando que, aunque los valores fueron altos no superaron los límites establecidos.

De igual manera, se analizó la investigación de Almeida (2014) titulado una revisión de la evaluación de la calidad del agua de los ríos de la provincia de Imbabura incluido en el Río Ambi, en el cual se analizó los resultados del estudio del Instituto de Meteorología e Hidrología (INAMHI), observando que el agua incumple los límites de valores permisibles en el TULSMA en relación a la turbidez, cloruros y coliformes fecales y totales; pero no se efectúo mediciones de cromo hexavalente.

Por otra parte, un estudio realizado por Fuentes & Villegas (2023) titulado la evaluación de la comunidad de Macroinvertebrados y los grupos funcionales de alimentación como indicadores de calidad ecológica del Río Ambi, en el cual uno de los parámetros evaluados fue la concentración de cromo hexavalente, observando que la presencia del metal en dos de sus puntos de muestreo que sobre pasan el LMP del Acuerdo Ministerial 097, con un valor de 0.67 mg. L^{-1} y el otro con un valor de 0.048 mg. L^{-1}

3.2. Calidad del agua

Los ríos y arroyos son los componentes más importantes del ecosistema, ya que forman el medio del ciclo de energía y materia entre los sistemas ecológicos terrestres y acuáticos (Liu et al., (2020). No obstante, en los últimos años, varios cuerpos de agua dulce se han visto afectados por diferentes procesos inducidos por el hombre, incluida la contaminación y la degradación del hábitat (Keke et al., (2021).

Hasta ahora, la rápida industrialización y urbanización han llevado a una contaminación y degradación acumuladas de los ríos a través de descargas de aguas residuales urbanas, descargas de efluentes industriales y manufactureros y escorrentías agrícolas; lo que resulta en la degradación de la calidad del agua y la pérdida de biodiversidad acuática (Wantzen et al., (2019).

La contaminación antropogénica del agua se ha convertido en un desafío de gestión urgente en la parte en desarrollo del mundo, dado que los arroyos y ríos de esta región se han visto enormemente afectados por las actividades antropogénicas; en consecuencia, las funciones y dinámicas de la biodiversidad y los sistemas ecológicos en el mundo en desarrollo se han visto gravemente afectadas, como lo demuestran los terribles registros de la mayoría de los cuerpos de agua en esta región (Franca et al., (2019).

A nivel global, los cuerpos de agua en la superficie pueden experimentar la influencia de la contaminación, que puede surgir tanto de causas naturales, como la existencia de elementos orgánicos naturales y la erosión de materiales sólidos y sustancias disueltas, como de causas de origen humano, que abarcan desde la liberación de aguas residuales procedentes de zonas habitadas hasta la actividad agrícola y las acciones humanas como el transporte, entre otros factores (Montalvo et al., (2020).

La calidad de cualquier masa de agua, superficial o subterránea depende tanto de factores naturales como de la acción humana. Sin la acción humana, la calidad del agua vendría determinada fundamentalmente por la erosión del substrato mineral, los procesos atmosféricos de evapotranspiración y sedimentación de lodos y sales, la lixiviación natural de la materia orgánica y los nutrientes del suelo por los factores hidrológicos, y los procesos biológicos en el medio acuático que pueden alterar la composición física y química del agua. Es así como la calidad del agua, en general, se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares (UN-Water, 2019).

3.2.1. Índice de calidad del agua (ICA)

A lo largo de la historia, se ha desarrollado una variedad de modelos de Índices de Calidad del Agua (WQI, por sus siglas en inglés) para evaluar la calidad del agua en diferentes cuerpos de agua. Aunque estos modelos se han desarrollado en las últimas cinco décadas, la idea de utilizar índices para clasificar la calidad del agua se remonta al siglo XIX. El primer

modelo de WQI fue desarrollado por Horton en la década de 1960, basado en 10 parámetros de calidad del agua considerados significativos en la mayoría de los cuerpos de agua. Posteriormente, Brown, con el apoyo de la National Sanitation Foundation (NSF), creó una versión más rigurosa del modelo de Horton, conocida como NSF-WQI, en la que un panel de 142 expertos en calidad del agua contribuyó a la selección y ponderación de los parámetros. En la actualidad, se han introducido más de 35 modelos de ICA en todo el mundo para evaluar la calidad del agua en diversas fuentes, incluyendo ríos, lagos y áreas marinas y costeras. A nivel global, se ha aplicado ampliamente en diferentes países y tipos de cuerpos de agua. El enfoque principal ha sido la evaluación de la calidad del agua en ríos, representando el 82% de las aplicaciones revisadas. Los modelos CCME y NSF han sido los más utilizados en los estudios revisados (Uddin et al., (2021).

La estructura general de los modelos de ICA consta de cuatro pasos principales: selección de los parámetros de calidad del agua, generación de subíndices de parámetros, asignación de valores de peso a los parámetros y cálculo del índice de calidad del agua utilizando una función de agregación. Este índice resultante se utiliza para categorizar y clasificar la calidad del agua en una escala determinada (Uddin et al., (2021).

Los índices de calidad del agua se refieren a un conjunto de datos de parámetros de calidad del agua que se agregan para producir un valor único para la calidad del agua, lo que reduce la gran cantidad de datos a un simple y fácil expresión. También permite comparaciones del estado de la calidad del agua para diferentes lugares y en diferentes momentos, lo que eventualmente ayudará a informar sobre el estado de la calidad del agua a la administración y al público de una manera simple (Zahraw et al., (2021).

El ICA NSF fue propuesto por la Fundación Nacional de Saneamiento para evaluar la calidad del agua superficial y se ha aplicado en todo el mundo tal como se propuso originalmente o se modificó antes de las aplicaciones y muchas revisiones han indicado que este ICA se han utilizado ampliamente como una herramienta eficiente para evaluar la calidad del agua superficial y subterránea (Nguyen et al., (2022).

Los ICA desempeñan un papel crucial en la evaluación y gestión de la calidad del agua en todo el mundo y proporcionan una herramienta eficaz para resumir y comunicar información compleja sobre la calidad del agua en una forma comprensible y accesible. Son fundamentales para tomar decisiones informadas sobre la utilización y conservación de los recursos hídricos, así como para identificar áreas que requieren atención y acciones de mejora. Además, son valiosos para evaluar el impacto de actividades humanas, como la industrialización y la urbanización, en la calidad del agua y para monitorear la efectividad de medidas de control de la contaminación (Chidiac et al., (2023).

3.3. Metales pesados en agua

El agua contiene metales pesados de forma natural, sin embargo, su incremento, aunque a veces también viene determinado por un enriquecimiento natural al pasar por acuíferos en los que hay rocas con una elevada concentración de esta materia, mayoritariamente está vinculado a la actividad humana, como la minería y la industria, que genera residuos como el plomo, el mercurio, el cadmio, el arsénico y el cromo, que llegan a los ríos y contaminan las aguas subterráneas (Fulke & Kotian, 2020).

Lo que hace que estos metales sean particularmente preocupantes es su toxicidad incluso en concentraciones muy bajas. A diferencia de algunos otros elementos metálicos esenciales para la vida, como el hierro o el zinc, que son necesarios en pequeñas cantidades para el funcionamiento adecuado de los organismos, los metales pesados no desempeñan ningún papel biológico esencial y pueden ser perjudiciales para los seres vivos.

La toxicidad de los metales pesados se debe a su capacidad para interferir con las funciones biológicas normales en los organismos. Pueden acumularse en tejidos y órganos, causar daño celular, alterar sistemas metabólicos y enzimáticos, y provocar una variedad de efectos adversos para la salud, que van desde problemas neurológicos y reproductivos hasta daño en el sistema circulatorio y órganos vitales como el hígado y los riñones (Kapah & Sachdeva, 2019).

3.3.1. Fuentes de contaminación de metales pesados en cuerpos de agua

La principal fuente de liberación de metales pesados, incluyendo el cromo en el agua proviene de actividades industriales, especialmente de la fabricación de productos químicos, minerales, acero, galvanoplastia, curtido de cuero, teñido de textiles, electrochapado y

producción de cemento. Estas industrias generan una cantidad significativa de aguas residuales y desechos sólidos que contienen cromo, lo que contribuye de manera considerable a la contaminación por cromo a nivel global. Además, los efluentes de las curtiembres son una preocupación importante en términos de contaminación por cromo en todo el mundo (Prasad et al., (2021).

Otras fuentes relevantes de liberación de cromo incluyen la gestión de residuos urbanos, donde productos de consumo que contienen cromo, como textiles y electrodomésticos, pueden liberar gradualmente cromo al medio ambiente a medida que se descomponen en vertederos. La agricultura también puede ser una fuente de liberación, ya que el uso de fertilizantes y enmiendas agrícolas que contienen cromo puede resultar en la liberación de este elemento en el suelo y el agua, especialmente en áreas agrícolas intensivas (Prasad et al., (2021).

La liberación natural de cromo ocurre a través de la erosión de minerales de cromita en ambientes naturales, lo que contribuye a la presencia de cromo en cuerpos de agua y suelos. Además, las emisiones de cromo derivadas del transporte y los vehículos, así como de los procesos de combustión, pueden contribuir a la contaminación del aire, lo que eventualmente puede llevar a la deposición de cromo en el agua y el suelo a través de la atmósfera (Vaiopoulou & Gikas, 2020).

3.4. Cromo

3.4.1. Propiedades y tipos de cromo

El cromo es un elemento relativamente abundante en la corteza terrestre. Los estados de oxidación del cromo varían desde -2 hasta +6, sin embargo, en condiciones ambientales, prácticamente solo los estados 0, +3 y +6 son estables. La cromita ([Fe,Mg]Cr2O4) es el mineral más común que contiene CrIII, mientras que el raro mineral crocoita (PbCrO4) es prácticamente la única fuente natural de CrVI en la Tierra (Vaiopoulou & Gikas, 2020).

En condiciones normales, el cromo es inestable en un entorno con oxígeno y, cuando se expone al aire, forma instantáneamente una capa de óxido que lo protege de una mayor oxidación. El cromo, al igual que otros elementos, posee propiedades físicas y químicas distintivas. Sus propiedades básicas incluyen un número atómico de 24, una masa atómica de 51.996 g/mol, electronegatividad de 1.6, densidad de 7.19 g/cm³ (a 20 °C), punto de fusión de 1907 °C, alto punto de ebullición de 2672 °C, radio de Van der Waals de 0.127 nm, radio iónico

de 0.061 nm (+3); 0.044 nm (+6), configuración electrónica de [Ar]3d54s1, potencial estándar de -0.71V (Cr3+/Cr), seis isótopos, y energías de ionización de 651.1 kJ/mol, 1590.1 kJ/mol y 2987.0 kJ/mol para la primera, segunda y última respectivamente (Eghonghon et al., (2021).

Los estados de oxidación del cromo varían desde -2 hasta +6, aunque en el suelo, las formas más estables son las especies trivalentes y hexavalentes. Otra forma comúnmente encontrada es Cr (0). La forma metálica se utiliza en la fabricación de acero y aleaciones. Dependiendo de la concentración de hexavalente y la acidez, el cromo existe en forma de cromato (CrO42) o dicromato (Cr2O27-). El Cr (VI) es más soluble en agua en comparación con el Cr (III), lo que lo hace más biodisponible y persistente en el entorno natural. Bajo condiciones ácidas en el suelo, el Cr (VI) puede reducirse a Cr (III). Aunque los compuestos de cromo actúan como micronutrientes esenciales para el metabolismo de azúcares y lípidos, el Cr (VI) es nocivo y puede causar problemas de salud, incluyendo cáncer de pulmón, dermatitis, problemas renales y gastrointestinales, irritación en las vías respiratorias y los ojos. La acumulación continua de Cr (VI) a lo largo de las cadenas alimentarias puede representar un riesgo para la salud humana (Eghonghon et al., (2021).

3.4.2. Comportamiento del cromo en el agua

El cromo presente en el entorno acuático y en las aguas subterráneas tiene su origen en fuentes tanto naturales, como minerales, como en actividades humanas, de carácter antropogénico. En condiciones naturales, podemos encontrar cromo en diversas fuentes de agua, incluyendo agua de lluvia, agua de mar, aguas superficiales y aguas subterráneas. Por ejemplo, en agua de lluvia, la concentración de cromo puede variar entre 0.2 y 1 μg L^{-1}, mientras que en agua de mar suele encontrarse en el rango de 0.04 a 0.5 μg/L. En aguas superficiales, los niveles pueden oscilar entre 0.5 y 2 μg L^{-1}, y en aguas subterráneas, generalmente se encuentra en concentraciones inferiores a 1 μg L^{-1}. Sin embargo, cerca de depósitos minerales que contienen cromo, la concentración de cromo en las aguas subterráneas puede ser significativamente más alta (Vaiopoulou & Gikas, 2020).

En su forma trivalente, CrIII, es la especie predominante en los cuerpos de agua naturales y puede tener su origen tanto en fuentes naturales como en actividades humanas. Por otro lado, el CrVI, hasta hace poco, se consideraba principalmente un contaminante antropogénico, con la excepción de casos raros, como la crocoita, que es una fuente natural de CrVI (Hu et al., 2016).

No obstante, algunos estudios han informado sobre la presencia de CrVI en aguas naturales, resultado de la oxidación química del CrIII que se encuentra de forma natural (Georgaki & Charalambous, 2023).

El cromo aparece en el medioambiente mediante procesos naturales o antropogénicos y su toxicidad depende de la especie química que esté presente. Así, mientras el Cr(III) es un nutriente con funciones esenciales en nuestro organismo, el Cr(VI) es cancerígeno y mutagénico. De ahí la importancia de su especiación en sistemas complejos como son los ecosistemas acuáticos marinos. En el agua de mar las especies metálicas se encuentran en bajas concentraciones, complicándose su análisis por el efecto de la matriz de la muestra. Por ello, es necesario el empleo de un método de extracción selectivo que permita la separación de la especie de interés y su preconcentración (Georgaki & Charalambous, 2023).

Generalmente la concentración de cromo en aguas es relativamente baja y los equilibrios redox y las reacciones de complejación y adsorción que tienen lugar, siguen cinéticas de transformación rápidas. La formación de hidróxidos metálicos juega un importante papel, ya que el Cr(III) coprecipita con muchos de ellos e incluso forma complejos y se absorbe en sedimentos a valores de pH elevados. Las sales de Cr(VI) son más solubles y más tóxicas, siendo relevante el estado de oxidación en que se encuentra

3.4.3. Daños a la salud humana por exposición al cromo

Los humanos generalmente están expuestos a metales pesados como el Cr (VI) a través de tres formas principales, por adsorción a través de la piel, ingestión (beber o comer) o inhalación (respiración) de partículas que contienen Cr. La adsorción depende principalmente del estado de oxidación del metal y características físicas compuestas. La adsorción de Cr (VI) puede aumentar a través de la piel lesionada o por acción local, lo que ocurre a menudo en trabajadores que tienen ulceraciones dérmicas inducidas por Cr. Los efectos específicos del alto nivel de Cr son cáncer de pulmón, úlceras en la piel, daño cerebral, síntomas de encefalopatía, muerte de células en tejidos vivos localizada por necrosis, neumoconiosis (una enfermedad pulmonar causada por la inhalación de partículas de polvo filtradas por Crin), problemas organolépticos, enfisema, bronquitis y carcinoma. Sus compuestos también son responsables de una amplia gama de efectos respiratorios (Tumolo et al., (2020)

Cr (VI) es la forma más tóxica, produciendo daño hepático y renal, hemorragia interna y trastornos respiratorios. Ha sido caracterizado como cancerígeno para los humanos (Grupo I) por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer. El Cr (VI) puede ingresar al cuerpo cuando las personas respiran aire, comen alimentos o beben agua que lo contiene (Mitra et al., (2022)**.**

3.5. Límites de cromo en cuerpos de agua

3.5.1. Normativas y estándares internacionales para la concentración de cromo en agua

Con respecto a los niveles de afectación que el cromo en sus distintas especies presenta para el ambiente y los seres humanos, se realizó un análisis exhaustivo de las normativas previamente mencionadas. Los límites de exposición permisibles (PEL) son establecidos legalmente en los Estados Unidos por la Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA, 2020) y se refieren a los niveles de exposición autorizados para sustancias químicas o agentes físicos. Por otro lado, el valor límite de umbral (TLV) es una pauta recomendada por la Conferencia Estadounidense de Higienistas Industriales Gubernamentales y, a menos que sea adoptado por una autoridad estatal o federal, no es un requisito normativo, sino una guía. Además, el límite de exposición recomendado (REL), definido por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH, (2019) es otra pauta no reguladora que sugiere límites superiores de exposición a sustancias peligrosas. La Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha establecido un nivel máximo de contaminación de 0,1 mg/L para la cantidad total de cromo en el agua potable y está considerando establecer límites para el cromo hexavalente en el futuro (EPA, 2023).

Por otro lado, en general, el límite máximo de descarga al medio acuático en los Estados miembros de la UE para CrVI es 1 mg L-1, mientras que para el cromo total el límite máximo de descarga es 5 mg L-1 (UE, 2005). Sin embargo, se espera que en el futuro los límites de descarga de cromo sean regulados bajo el concepto de biodisponibilidad del metal (UE, 2009), por lo que los límites antes mencionados podrán correlacionarse con la calidad química del cuerpo de agua receptor, mientras que, el límite de agua potable de la UE o concentración total de cromo es de 0,05 mg L-1, como se expresa en la Directiva del Consejo Europeo 98/83/EC (CoE, 1998), la OMS sugiere 0,05 mg L-1 para CrVI, mientras que en EE. UU. los límites han se ha fijado en 0,1 mg Crtotal L-1 (no hay límite para CrVI en el agua potable a nivel federal),

mientras que las directrices de Singapur, Australia y China imponen un límite de 0,05 mg Crtotal L-1 (Vaiopoulou & Gikas, 2020).

En Ecuador, la Constitución de la República del Ecuador (2008) fija un límite de 0,1 mg/L para el cromo total y 0,05 mg/L para el cromo hexavalente en agua potable, además el 0,05 de Cr (VI) se usa también para ambientes naturales, y se permiten descargas bien al alcantarillado o al medio ambiente directamente de 0,5 mg/L. Estos valores se resumen y comparan en la Tabla 1, lo que proporciona una visión general de los límites permisibles de cromo en agua potable según las diferentes normativas y organismos reguladores mencionados.

Tabla 1.

Rangos permisibles del cromo en agua potable

Norma Revisada	Concentración Máxima Cr Total, mg/L	Concentración Máxima Cr (VI), mg/L
US EPA (United States Environmental Protection Agency)	0,1	No Regulado
FDA	0,1	0,05
Resolución 2115 "Calidad de Agua Potable para Consumo Humano" - Colombia	0,05	0,01
Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria de Medio Ambiente Libro VI, Anexo 1 (TULAS o TULSMA) - Ecuador	0,1	0,05

Nota: Tomado de US EPA (2015), ATSDR (2019), Resolución Conjunta 2115 de 2007 Ministerio de Salud y Protección Social, Secundaria de Medio Ambiente Libro VI, Anexo 1 (Acuerdo Ministerial 097) Ecuador Constitución de la República del Ecuador.

3.6. Métodos de eliminación de cromo hexavalente en agua

3.6.1. Técnicas y procesos para la remoción de cromo del agua

La remoción de cromo del agua es un proceso importante para garantizar la seguridad del agua potable y proteger el medio ambiente. El cromo puede estar presente en el agua en diferentes formas, pero dos de las más comunes son el cromo hexavalente (Cr (VI)), que es

tóxico y cancerígeno, y el cromo trivalente (Cr(III)), que es menos tóxico, pero aún preocupante en altas concentraciones. A continuación, se presentan las técnicas y procesos que se utilizan para la remoción de cromo del agua (Kenur et al., 2021; Islam et al., 2023):

- Precipitación Química: En la precipitación química, se añaden productos químicos específicos al agua contaminada con cromo, como el sulfato de calcio, el hidróxido de calcio o el sulfato de hierro, los cuales reaccionan con los iones de cromo en el agua y forman precipitados sólidos, generalmente hidróxidos de cromo, que son insolubles en agua y estos precipitados pueden ser separados del agua mediante sedimentación o filtración. Este proceso es eficaz para la eliminación de cromo cuando se encuentra en forma de cromo hexavalente (Cr (VI)).
- Intercambio Iónico: El proceso de intercambio iónico implica el uso de resinas cargadas con iones que tienen una afinidad por los iones de cromo presentes en el agua. Cuando el agua pasa a través de estas resinas, los iones de cromo son capturados por las resinas y se intercambian por otros iones presentes en las resinas y cuando estas se saturan con cromo, se pueden regenerar utilizando una solución concentrada que libera los iones de cromo, permitiendo la reutilización de las resinas.
- Adsorción: La adsorción implica el uso de materiales adsorbentes, como el carbón activado, zeolitas u óxidos de hierro, que tienen la capacidad de atrapar los iones de cromo en su superficie. Los materiales adsorbentes tienen una alta área superficial y sitios de adsorción activos que pueden unirse a los iones de cromo y a medida que el agua pasa a través de estos materiales, el cromo se adsorbe en su superficie. Estos materiales adsorbentes pueden regenerarse o reemplazarse después de su uso.
- Membranas de Ósmosis Inversa: En la ósmosis inversa, se utilizan membranas semipermeables que permiten el paso de moléculas de agua mientras retienen los iones de cromo y otros contaminantes, mientras que, el agua se somete a presión para forzarla a través de las membranas, separando así los iones de cromo del agua. Este proceso es efectivo para eliminar una amplia gama de contaminantes, incluyendo el cromo.
- Electrocoagulación: es un proceso en el que se aplican corrientes eléctricas al agua contaminada, lo cual provoca la formación de coágulos o floculantes que atrapan las partículas de cromo y otros contaminantes suspendidos en el agua y los coágulos pueden ser posteriormente eliminados por sedimentación o flotación. La electrocoagulación es

eficaz para la eliminación de partículas coloidales y sólidos suspendidos.

- Fotocatálisis: utiliza luz ultravioleta y catalizadores para descomponer los iones de cromo y otros contaminantes en el agua. Los catalizadores activados por la luz UV generan especies reactivas de oxígeno que descomponen el cromo en formas menos tóxicas o lo convierten en precipitados que pueden ser eliminados.
- Precipitación Biológica: involucra el uso de microorganismos que pueden reducir el cromo hexavalente (Cr (VI)) a cromo trivalente (Cr(III)), que es menos tóxico, estos microorganismos pueden llevar a cabo reacciones de reducción en condiciones adecuadas, convirtiendo el Cr(VI) en un precipitado de Cr(III) que puede ser separado del agua.

Por otro lado, La remoción de cromo de las aguas residuales mediante el uso de nanomateriales se ha convertido en un enfoque altamente efectivo y sostenible. Los nanocompuestos, como las nanopartículas y nanofibras, ofrecen una gran superficie específica y propiedades únicas que los hacen altamente eficientes como adsorbentes. Estos nanomateriales pueden eliminar eficazmente el cromo de las soluciones acuosas, contribuyendo así a la reducción de la contaminación del agua.

Los nanomateriales, incluidas las nanopartículas de óxido de hierro, nanocompuestos de sílice y otros, han demostrado ser efectivos en la adsorción de cromo, ya sea en forma de Cr (III) o Cr(VI) y la eficacia de la remoción de cromo depende de diversos factores, como la concentración inicial de iones de cromo, la cantidad de adsorbente utilizado, la temperatura, el pH, el tiempo de contacto y la agitación. Además, la capacidad de regeneración y reutilización de estos nanomateriales es importante para su aplicabilidad a gran escala (Atif et al., (2023).

Tabla 2.

Ventajas y desventajas de los métodos de remoción de cromo

Técnica de Tratamiento	Método	Ventajas	Desventajas
Adsorción/Sorción	Adsorción	- Puede absorber tanto especies de Cr aniónicas como catiónicas. - Mayor eficiencia en la eliminación de Cr en comparación con el proceso de precipitación. - Eficiente para eliminar tanto Cr3+ como Cr6+. - Producción mínima	- Difícil ajuste de pH. - Capacidad limitada. - Requiere un sistema adecuado de eliminación para reducir la contaminación ambiental.

		de lodos. - Posibilidad de reciclar el adsorbente.	
Tratamiento Electroquímico	Electrocoagulación	- Requiere una inversión mínima. - Requiere poco pretratamiento. - Eficiente para eliminar tanto Cr3+ como Cr6+. - Posibilidad de recuperar el Cr para su uso posterior. - Tiempo mínimo de reacción. - El electrodo de Fe es más eficiente para la eliminación de Cr6+.	- Se requiere un proceso de múltiples etapas. - Pueden surgir dificultades debido a la presencia de metales y aniones complejos. - Dificultades en la eliminación de microfloculantes. - Se produce una gran cantidad de lodo. - Puede requerir un tratamiento adicional para la eliminación de floculantes coloidales.
Tratamiento Electroflotación	Electroflotación	- No requiere productos químicos adicionales. - Fácil de controlar. - El electrodo puede proporcionar una cobertura total.	- Las burbujas grandes pueden dificultar el proceso.
Reducción Electroquímica	Reducción electroquímica	- Tiempo mínimo requerido tanto para la reacción como para la retención. - Proceso de un solo paso. - Concentración mínima de residuos metálicos.	- Costoso y no adecuado para el tratamiento de agua potable. - Exceso de precipitación de hidróxido de hierro aumenta la cantidad de lodo.
Tratamiento Fisicoquímico	Método de intercambio iónico	- Fácil de operar. - Altamente eficaz y confiable. - Eficiente para instalaciones pequeñas y grandes. - Varias resinas están disponibles.	- Regeneración regular. - Eliminación del concentrado. - Ensuciamiento de la resina. - Otros iones pueden interferir en la eficiencia de eliminación.
Proceso de Reducción	Proceso de reducción	- Proceso de un solo paso. - Concentración baja de residuos metálicos. - Los reductores se pueden deshidratar fácilmente.	- Costoso y no adecuado para el tratamiento de agua potable.
Remoción Biológica	Remoción biológica	- Respetuoso con el medio ambiente. - Operación sencilla.	- Proceso que consume tiempo.
Filtración de Membrana	Ósmosis inversa	- Una de las mejores tecnologías disponibles para la eliminación de Cr. - Posible eliminar del 60 al 100% del Cr. - Eficiente para eliminar una amplia gama de contaminantes simultáneamente.	- Alta inversión y costos operativos. - Enfrenta problemas de ensuciamiento de la membrana. - Disposición de la salmuera.
	Nano filtración	- Tiene una gran área superficial.	- Requiere pretratamiento.

Nota. Tomado de A Comprehensive Review of the Current Progress of Chromium Removal Methods from Aqueous Solution, por Islam et al., (2023): p.6.

3.7. Métodos de laboratorio para la determinación de Cr^{+6}

La determinación del cromo hexavalente (Cr^{+6}) en muestras de laboratorio es esencial para evaluar la contaminación ambiental y la seguridad en la salud, uno de los métodos más comunes para llevar a cabo esta determinación es la espectrofotometría UV-Visible, el cual se basa en la capacidad del Cr+6 para formar un complejo de color con una sustancia reactiva,

como el dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) y el complejo resultante tiene una absorbancia específica en el rango UV-Visible. Para realizar este análisis, se prepara una solución de la muestra y se le agrega un reactivo apropiado, luego, se mide la absorbancia de la solución a una longitud de onda específica utilizando un espectrofotómetro UV-Visible y finalmente, la concentración de Cr+6 se calcula utilizando una curva de calibración previamente preparada (Marguí & Torrent, 2023).

Otro método ampliamente utilizado es la cromatografía de ionización, que se basa en la separación y cuantificación de los iones Cr^{+6} en una muestra mediante cromatografía iónica y en el cual, la muestra se inyecta en un cromatógrafo iónico que separa los iones en función de su carga, mientras que, el cromatógrafo registra el tiempo que tarda cada ion en salir de la columna de separación y genera un cromatograma, la concentración de Cr^{+6}se determina comparando el pico del cromatograma con una curva de calibración (Mohamed et al., (2020).

La espectrometría de masas es otra técnica utilizada para identificar y cuantificar elementos y compuestos en una muestra, incluyendo Cr^{+6}. En este método, la muestra se ioniza y se introduce en un espectrómetro de masas. El espectrómetro registra la relación masa/carga (m/z) de los iones presentes en la muestra, y la concentración de Cr^{+6} se determina midiendo la intensidad del pico correspondiente en el espectro de masas (Mohamed et al., (2020). Por último, los electrodos selectivos de ion (ISE) son dispositivos utilizados para medir directamente la concentración de Cr^{+6} en una solución. Estos electrodos generan una señal eléctrica que es proporcional a la concentración de Cr^{+6} en la muestra. La elección del método dependerá de factores como la disponibilidad de equipos, la precisión requerida y el tipo de muestra. Es importante seguir las normativas y estándares de calidad específicos al realizar análisis de Cr^{+6} en laboratorio para garantizar resultados precisos y confiables.

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Fase 1: Investigación de campo

4.1.1. Materiales y Equipos

Tabla 3.

Materiales, equipos y software utilizado en la toma de muestras en campo y en el procesamiento de información

Materiales	Equipos	Software
Frascos boeco de 500ml	Pro20 Dissolved Oxygen Meter, modelo 55 marca: YSI	Google Earth
Frascos esterilizados	Mini anemómetro, modelo 45158, marca Extech	Google maps
Cooler	GPS	Arcgis versión 10.5
Pilas de hielo	Cámara fotográfica	
Guantes de examinación		
Botas de caucho		
Cuaderno de apuntes		
Lápiz	.	
Etiquetas adhesivas		
Rotuladores		

4.1.2. Método descriptivo

Para dar inicio a la investigación se realizó una revisión bibliográfica para identificar los puntos de muestreo accesibles para realizar los respectivos análisis y de igual manera se llevó a cabo una visita preliminar a la Parroquia de Imbaya mediante una observación directa.

4.1.2.1. Técnica de observación directa

Esta fase implicó considerar la zona de origen del río Ambi en la mencionada parroquia, así como su curso hasta la desembocadura donde se une con el río Tahuando. Durante una salida

de campo, se lograron identificar y establecer cinco puntos de muestreo estratégicos a lo largo de todo el tramo del río Ambi que atraviesa la Parroquia de Imbaya, lugar considerado como la zona baja de la subcuenca ya mencionada, cada uno de los puntos están guardados en coordenadas WGS 198 UTM con la ayuda de

Tabla 4.

Coordenadas de los puntos de muestreo

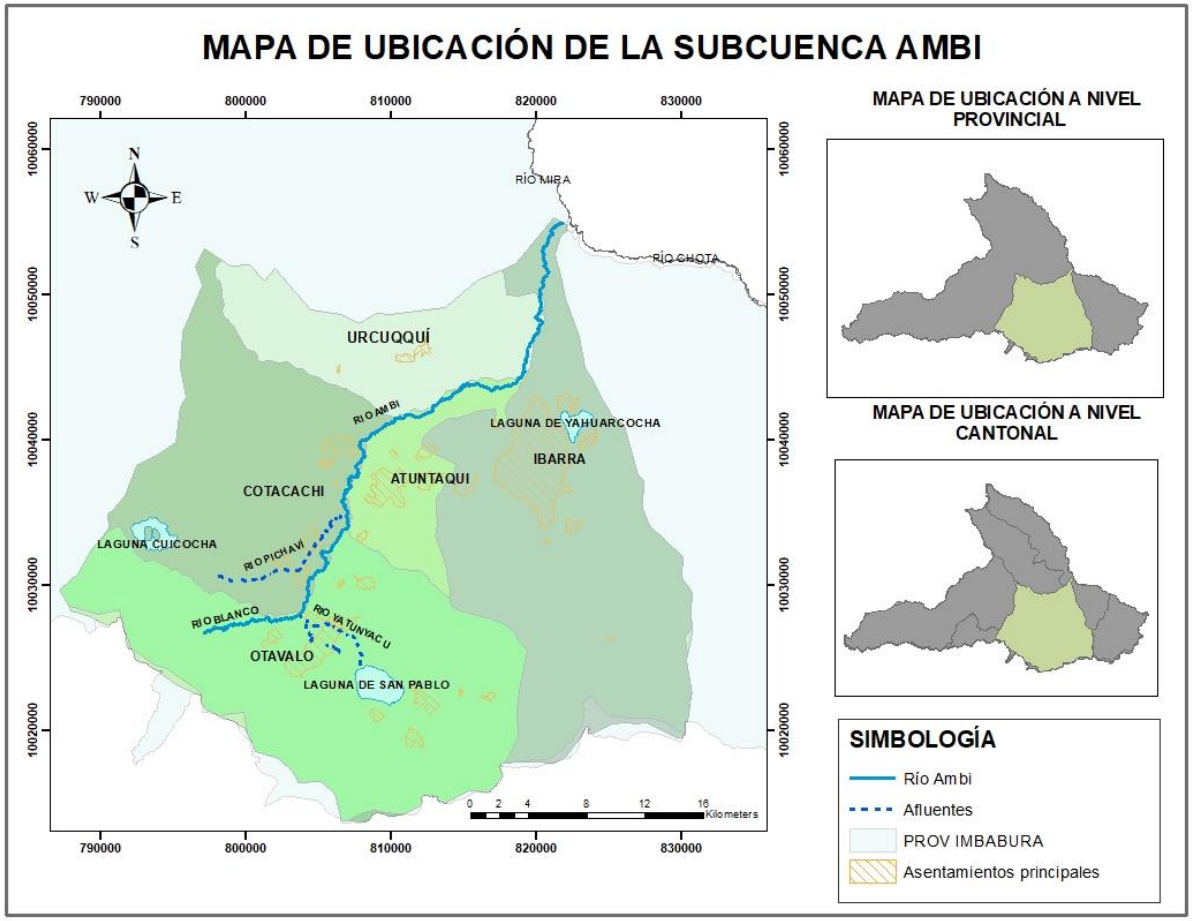
Punto de muestro	Coordenadas UTM	
	x	y
P1	814728	10043372
P2	814874	10043536
P3	816693	10043508
P4	818246	10043700
P5	819014	10044395

4.1.3. Descripción de la zona de estudio

Esta investigación se llevó a cabo en la subcuenca Ambi, ubicada en la Provincia de Imbabura (Figura 1). El río Ambi se origina en el lago San Pablo, con una altitud de 2300 metros sobre el nivel del mar al suroeste, fuera de los límites del cantón. Con una longitud de 40,25 km, este río atraviesa cinco cantones dentro de la subcuenca, incluyendo Antonio Ante, Cotacachi, Ibarra y Otavalo. Es importante destacar que 26 km de su curso pertenecen al cantón Antonio Ante y más adelante, se une al río Chota como afluente (GAD Antonio Ante, 2020).

Figura 1.

Ubicación geográfica de la zona de estudio



Nota. Se tomó el DEM de google Earth con el uso del software Arcgis versión 10.5

4.1.3.1. Clima

El clima de la subcuenca hidrográfica que presenta en un régimen anual es de lluvias de tipo ecuatorial debido a que se observan picos pluviométricos que se encuentran en los meses de abril y noviembre además existen la época seca es presenciada en los meses de junio, julio, agosto y septiembre (GAD Antonio Ante, 2020).

4.1.3.2. Relieve

El rio Ambi tiene una superficie que presenta una altitud que se encuentra desde los 1512 en su zona baja a los 4902m.s.n.m en su zona alta, lo que permite tener variedad de pendientes formando diferentes tipos de relieves. El 47.32% del territorio tienen un relieve plano, seguido del 27,99% un tipo de relieve suavemente inclinado, luego un 14,63% relieve ligeramente

ondulado, un 6,70% presenta un relieve ondulado, 2,66 % presenta un relieve colinado y 0,67 % un relieve escarpado (GAD Antonio Ante, 2020).

4.1.3.4. Uso de suelo

El uso de suelo en la subcuenca Ambi se basa en la agricultura, ganadería y asentamientos humanos, además existen más de cien sistemas de riego que hacen uso de su aprovechamiento de agua algunos con 2500 regantes y más de 14 mil l/s que abastecen a varias juntas de agua.

En cuanto al rol de sus asentamientos, Ibarra al ser capital provincial, es considerada como centro administrativo y de prestación de servicios y los demás asentamientos considerados como generadores de ingresos económicos (Muñoz et al., 2023). Este tipo de asentamientos tiene principales actividades económicas como la manufactura especialmente la industria textil, la construcción, el comercio y la actividad agropecuaria, de la cual se puede identificar la utilización de variedad de cultivos entre permanentes, transitorios y asociados (Illapa, 2020).

Tabla 5.

Actividades económicas que se realizan por cantón

Actividad económica por cantón	**Número de empresas/industrias**
Antonio Ante	**477**
Actividades de atención de la salud humana y de asistencia social.	24
Actividades de alojamiento y de servicio de comidas.	174
Industrias manufactureras.	279
Cotacachi	**198**
Actividades de atención de la salud humana y de asistencia social.	16
Actividades de alojamiento y de servicio de comidas.	95
Industrias manufactureras.	87
Ibarra	**2108**
Actividades de alojamiento y de servicio de comidas.	1084

Actividades de atención de la salud humana y de asistencia social.	210	
Industrias manufactureras.	814	
Otavalo		**1145**
Actividades de alojamiento y de servicio de comidas.	442	
Industrias manufactureras.	604	
Actividades de atención de la salud humana y de asistencia social.	99	
Pimampiro		**48**
Actividades de atención de la salud humana y de asistencia social.		4
Actividades de alojamiento y de servicio de comidas.		28
Industrias manufactureras.		16
Urcuquí		**45**
Total general		**4021**

Nota. Esta tabla son datos proporcionados por parte del GAD donde se muestra las distintas actividades que se desarrollan en cada uno de los cantones que rodean a la subcuenca.

4.2. Fase 2: Determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

4.2.1. Materiales de laboratorio

Tabla 6.

Materiales y equipos de laboratorio

Materiales	Equipos	Reactivos	Software
Micropipeta Puntas para micropipetas	Potenciómetro modelo F-71, marca Horiba LAQUA Medidor de turbidez portátil TB400, marca: Extech Conductímetro portátil, modelo 850038, marca SPER SCIENTIFIC	NaOH (Hidróxido de sodio) Nutrientes a, b, c, d	Arcgis versión 10.5 Google Earth

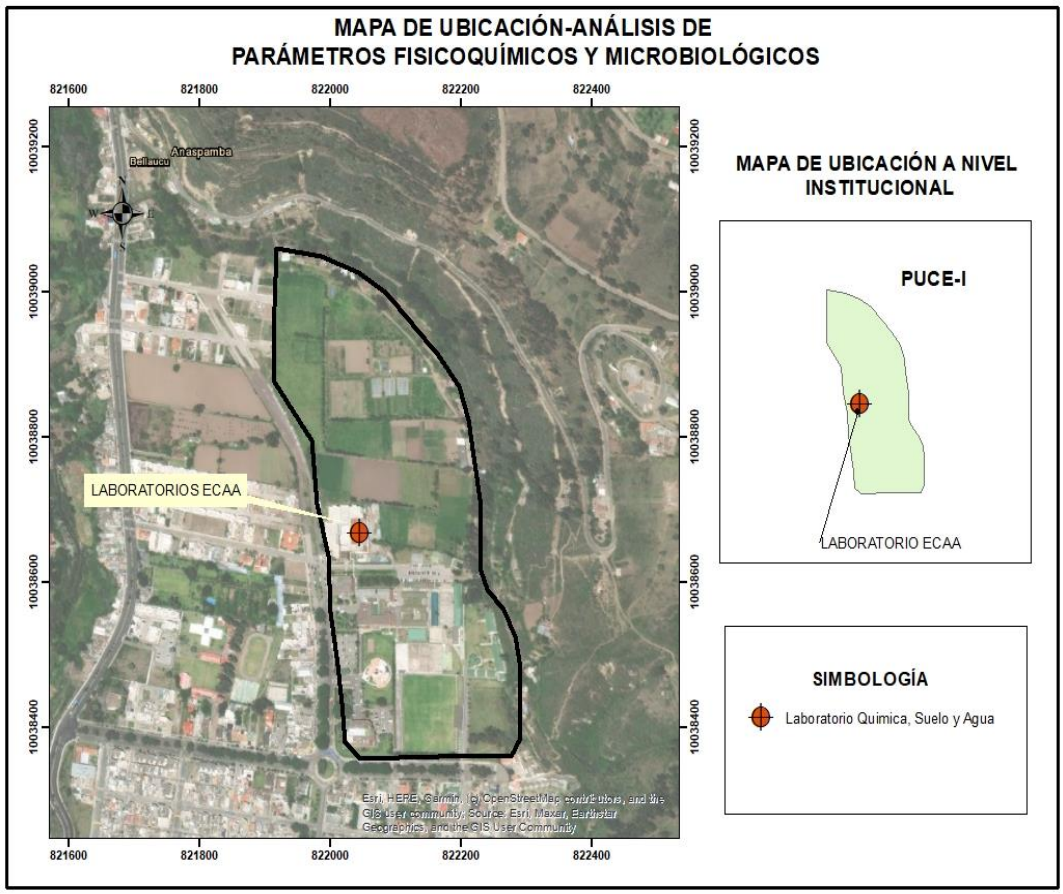
Papel filtro	Incubadora Thermo Fisher Scientific, Modelo: 3621	Kit para analizar fosfatos	Microsoft Excel 2016, Versión 16.0
Vaso de precipitación	Conductivity/TDS/Salinity Meter, modelo EC400, marca Extech	Kit para analizar nitratos	
Frascos ámbar	DBO Sensor System 6, modelo 230 V / 50-60 Hz, marca: VELP Scientifica	Kit para analizar CrVI	
Placas petrifilm	Colorímetro SMART3, modelo 1910, marca LaMotte	Agua desionizada	
Agitador magnético			

4.2.2. Método Experimental

Se detallan los protocolos de recolección de muestras basándose con lo que dicta la norma (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1998) NTE INEN 2 169:98, en el cual establece las medidas generales de precaución para la conservación y el transporte adecuado para las muestras. Con lo que respecta a los análisis de laboratorio de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, se llevaron a cabo en los laboratorios de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales- PUCEI en la ciudad de Ibarra, desarrollando la segunda etapa de la investigación.

Figura 2.

Ubicación Geográfica de los laboratorios utilizados



4.2.2.1 Proceso de toma de muestras

En primer lugar, se procedió a etiquetar los frascos Boeco de 500 ml y los recipientes destinados a la recolección de muestras de agua. Estas etiquetas deben incluir información esencial como el lugar de muestreo, la fecha en que se realiza el muestreo y el número del punto de toma de la muestra.

La toma de muestras se lleva a cabo siguiendo un procedimiento que implica recoger el agua en dirección contraria al flujo del río. Es importante comenzar aguas abajo y luego proceder aguas arriba. Esto se realiza con el fin de asegurarse de que el recurso hídrico esté fluyendo de manera constante. Además, es fundamental seleccionar la parte central del río para recoger el agua, evitando áreas con turbulencias significativas. Esto se debe a que, en las zonas cercanas a las orillas del río, el agua puede no estar completamente mezclada, lo que podría afectar la

precisión de los resultados en los análisis, como se señala en un estudio previo (Barreto, P, Espinoza y Leiva, 2009).

Por otro lado, se emplearon frascos de plástico desinfectados para la obtención de muestras destinadas a la medición de coliformes fecales. En este caso, no se requirió llenar completamente el frasco, ya que las bacterias necesitan oxígeno para su desarrollo.

Una vez recolectadas, las muestras se depositaron en un cooler para mantenerlas refrigeradas durante todo el proceso de muestreo y el posterior traslado al laboratorio. Una vez concluida la recolección de las muestras, estas fueron transportadas al Laboratorio de Química, Suelos y Aguas, ubicado en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador "Sede Ibarra" (PUCE-I), donde se llevaron a cabo los análisis fisicoquímicos y biológicos correspondientes. Este proceso de muestreo se llevó a cabo en los meses de abril, mayo y junio de 2023.

4.2.2.2. Análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Para poder establecer la calidad de agua que tiene el rio Ambi en la parte baja que tiene el cauce, se estudiaron los siguientes parámetros: pH, Temperatura (°C), TDS (mg. L^{-1}), Oxígeno Disuelto (OD %), Coliformes fecales (NMP/100 mL), DBO5 (mg. L^{-1}, Nitratos (NO3 mg. L^{-1}), Fosfatos (PO4 mg. L^{-1}), Turbidez (NTU), los cuales son lo que permiten calcular el ICA (Rubio et al., 2014). De igual manera se estudió la concentración de Cromo hexavalente, con la finalidad de conocer si la presencia de este metal pesado se encuentra dentro de la Normativa vigente, mismo que puede variar por las características fisicoquímicas y biológicas presentes en el agua.

Tabla 7.

Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados.

Parámetro	Análisis	Cantidad de muestra	Equipo de laboratorio
T. ambiente (°C)	In situ	-	Mini anemómetro, modelo 45158, marca Extech
T. del agua (°C)	In situ	-	Pro20 Dissolved Oxygen Meter, modelo 55 marca:

			YSI
OD (mg/l) - % de saturación	In situ	-	Pro20 Dissolved Oxygen Meter, modelo 55 marca: YSI
pH	Ex situ	10 ml	Potenciómetro, modelo F-71, marca Horiba LAQUA
SDT ($mg.L^{-1}$)	Ex situ	10 ml	Conductivity/TDS/Salinity Meter, modelo EC400, marca Extech
Nitratos ($mg.L^{-1}$)	Ex situ	10 ml de blanco y 10 ml con un sobre de reactivo para nitratos	Colorímetro SMART3, modelo 1910, marca LaMotte
Fosfatos ($mg.\ L^{-1}$)	Ex situ	10 ml de blanco y 10 ml con un sobre de reactivo para fosfatos	Colorímetro SMART3, modelo 1910, marca LaMotte
DBO_5 ($mg.\ L^{-1}$)	Ex situ	0.50 ml	DBO Sensor System 6, modelo 230 V / 50-60 Hz, marca: VELP Scientifica
Cr^{+6} ($mg.\ L^{-1}$)	Ex situ	10 ml de blanco y 10 ml con un sobre de reactivo para cromo	Colorímetro SMART3, modelo 1910, marca LaMotte
Turbidez (NTU)	Ex situ	10 ml	Portable Turbidity Meter modelo TB400, marca Extech
Coliformes fecales (UFC)	Ex situ	1 ml	Placas 3M™ Petrifilm™ - Incubadora Thermo Fisher Scientific

Nota. Esta tabla detalla los parámetros in situ y ex situ junto con las cantidades y los equipo utilizados para el análisis.

- **Parámetros fisicoquímicos**

Oxígeno disuelto

Antes de iniciar las mediciones de oxígeno disuelto (OD), se verifica que el equipo esté correctamente calibrado para asegurar la precisión de los valores obtenidos. Posteriormente, se enciende el instrumento y se introduce la sonda en la muestra a analizar, esperando a que las lecturas se estabilicen. Una vez que los valores alcancen su máximo y se mantengan estables, se procede a registrar la medición y/o guardar los datos obtenidos. Finalmente, se realiza la limpieza y se almacena el equipo de manera apropiada después de su uso (YSI , 2016).

Potenciómetro pH:

Para determinar este parámetro, primeramente, se realizó una calibración del equipo, luego la muestra de agua se depositó en un recipiente de precipitación de 100 ml, después se insertó el electrodo, previamente lavado con agua desionizada. Posteriormente se aguardó hasta que los datos se estabilicen y se registró la medición (Horiba, 2021).

Sólidos Totales Disueltos (TDS):

El proceso de medición para este parámetro. Primeramente, se lleva a cabo la calibración del equipo, seguido se lo coloca en la muestra de agua a analizar para realizar la correspondiente medición. Una vez que el equipo proporciona el resultado, este se registra (EXTECH, 2005).

Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días (DBO5):

Para realizar este análisis, se coloca la muestra en una botella ámbar de 43 ml junto con 1 ml de cada nutriente A, B, C y D. Luego, se agrega un agitador magnético y se incluye un inhibidor de nitrificación en la botella. La botella se sella con un tapón de goma perforado, al cual se le añade hidróxido de sodio. Después de este proceso, la muestra se ubica en una incubadora a una temperatura de 20°C durante 5 días, con mediciones tomadas en el mismo momento del día en que se inició la incubación (VELP SCIENTIFICA, s.f.).

Turbiedad

Para analizar este parámetro, primeramente, el equipo tiene que estar apagado luego se coloca la muestra en una celda de vidrio de 10 ml asegurándose de evitar la formación de burbujas, y

se cierra la tapa herméticamente. Posteriormente hay que limpiar y secar el exterior del recipiente de muestra para garantizar una superficie limpia. A continuación, se abre la tapa de la cámara de prueba y se inserta completamente la celda de prueba en ella, cerramos la tapa de la cámara y procedemos a encender el medidor presionando el botón "POWER", seguido brevemente por el botón "TEST". La pantalla mostrará "TEST" durante aproximadamente 10 segundos y finalmente mostrará el valor de turbidez en unidades NTU (EXTECH, 2016).

Nitratos (NO3)

Se llevó a cabo el análisis de nitratos utilizando el kit de HACH (método de reducción de cadmio - 8039). El procedimiento se realizó de la siguiente manera:

En primer lugar, se llena una celda con 10 ml de muestra y se añade un sobre de Reactivo NitraVer 5 Nitrate Reagent Powder Pillow en la misma. Luego, se coloca la tapa en la celda de la muestra y se programa el temporizador durante 1 minuto y agitamos vigorosamente la celda hasta que el tiempo estimado transcurriera, verificando después que el polvo se hubiera disuelto por completo. Posteriormente, se limpió la celda de la muestra y se esperaron 5 minutos antes de introducir la muestra en el equipo. Al restar un minuto para completar este tiempo, se encendió el equipo (Colorímetro SMART3, modelo 1910, marca LaMotte) y se seleccionó la opción "all test", seguida de "64 Nitrate N –LR". Luego, se optó por escanear el blanco, y una vez realizado esto y finalizado el tiempo de espera, se insertó rápidamente la muestra, asegurándose de que estuviera limpia en el exterior. La muestra se colocó en el equipo y se escaneo la muestra, registrando finalmente el resultado obtenido (HACH, 2019).

Fosfatos (PO4)

Se determinó los fosfatos utilizando el kit de HACH (Método de PhosVer 3-8190). Para llevar a cabo este proceso, primero se llena una celda limpia con muestra hasta la línea blanca que indica 10 ml. Luego, se añade un sobre del reactivo y se cierra herméticamente la celda, agitando el polvo durante 1 minuto hasta que se disuelva por completo. Después de esto, se espera un máximo de 5 minutos hasta que la solución adquiriera un color azul uniforme. Posteriormente, se enciende el equipo (Colorímetro SMART3, modelo 1910, marca LaMotte) y se selecciona la opción "all tests". Se elige "78 Phosphate" y se escanea el blanco. Al finalizar los 5 minutos de espera, se mezcla la muestra y antes de introducir la muestra al equipo se verifica que la celda

en la parte superior este limpia, una vez hecho esto se cierra la tapa del equipo y se escanea la muestra, finalmente, se registra el resultado obtenido (HACH, 2000).

Cromo hexavalente

Para obtener el cromo hexavalente se usó el kit de LaMotte **(**Método de Difenilcarbohidrazida, 3645-SC). El proceso para llevar a cabo el análisis es el siguiente: Inicialmente, se enciende el equipo y se accede al menú de pruebas, donde se selecciona la opción 021 Chromium. Luego, se prepara una celda limpia y se llena con la muestra de agua hasta alcanzar la línea blanca de 10 ml. Esta celda se introduce en el equipo (Colorímetro SMART3, modelo 1910, marca LaMotte) y se selección "SCAN BLANK". Posteriormente, se retira la celda y se añade un sobre de Cromo en Polvo (V-6276). La celda se tapa y se agita suavemente hasta que el polvo se disuelva por completo. Después, se deja reposar durante 3 minutos para permitir que se desarrolle el color. Mientras se espera, se prepara un filtro de papel doblando por la mitad formando un cono y se coloca en un embudo. Al finalizar los 3 minutos, se filtra la muestra en una celda limpia utilizando el embudo con el filtro, se mezcla y se reintroduce la celda en el equipo. Se cierra la tapa del equipo y se selecciona la opción "SCAN SAMPLE". Finalmente, se registra el resultado obtenido (LaMotte, s.f).

- **Parámetros biológicos**

Coliformes Fecales Totales

Para llevar a cabo el análisis de este parámetro, se utilizó el método AFNOR 3M 01/2-09/89C para el recuento de E. Coli y Coliformes. De acuerdo con la información proporcionada por 3M Microbiology (2017), se sigue el siguiente procedimiento: Primero se toman las placas Petrifilm que ya están listas para su uso luego con la ayuda de una micropipeta, se extrae 1 ml de la muestra que se quiere evaluar y se deposita en el centro de la placa, brevemente con precaución, se cierra la cubierta para evitar la formación de burbujas y se distribuye la muestra por toda la superficie circular de la placa utilizando un dispersor. La placa se deja reposar en la estufa durante un período de 24 a 48 horas. Después de este tiempo, se procede a contar las colonias que se han formado.

4.2.2.4. Determinación del Índice de Calidad del Agua (ICA)

La determinación del Índice de Calidad del Agua (ICA) es un proceso importante para evaluar la calidad del agua en un cuerpo de agua determinado, de acuerdo con los parámetros establecidos por Brown. Los parámetros ICA incluyen (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, s.f.):

- Coliformes Fecales (en NMP/100 mL)
- pH (en unidades de pH)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO5 en mg/L)
- Nitratos (NO3 en mg/L)
- Fosfatos (PO4 en mg/L)
- Cambio de la Temperatura (en ºC)
- Turbidez (en FAU)
- Sólidos disueltos totales (en mg/L)
- Oxígeno disuelto (OD en % saturación)

Estimación del Índice de Calidad del Agua

El Índice de Calidad del Agua (ICA) se estima utilizando una fórmula ponderada que considera los valores de los parámetros mencionados anteriormente. Los pasos para calcular el ICA son los siguientes (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, s.f.):

- Asignación de Pesos Relativos (wi): Se asignan pesos relativos a cada uno de los 9 parámetros. Estos pesos son proporcionales a la importancia de cada parámetro en relación con el riesgo que implica un aumento o disminución de su concentración en el agua. Los pesos se asignan de acuerdo a la Tabla 2, donde la suma de todos los pesos es igual a 1.
- Cálculo de Subíndices (Subi): Para cada parámetro, se calcula un Subíndice (Subi) utilizando una serie de fórmulas y gráficos basados en la asignación de pesos. Cada Subíndice refleja la calidad del agua en relación con ese parámetro específico.
- Cálculo del ICA: Una vez que se han calculado los Subíndices para cada parámetro, se procede a calcular el ICA general. Esto se hace multiplicando cada Subíndice por su peso relativo correspondiente y luego sumando los resultados de todos los parámetros.

La fórmula para el cálculo del ICA es:

$$ICA = \sum_{i=1}^{n} I_i * Wi$$

Donde:

ICA: Índice de Calidad del Agua.

Subi: Subíndice del parámetro i.

wi: Peso relativo del parámetro i.

Pesos relativos del parámetro ICA

Los pesos relativos asignados a cada parámetro ICA se muestran en la Tabla 2. Estos pesos son importantes ya que determinan la influencia de cada parámetro en la calidad general del agua. El ICA resultante se utiliza para clasificar la calidad del agua en diferentes categorías, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8.

Factores de ponderación ICA-NSF utilizados en el estudio

Parámetro	Factor de Ponderación
Oxígeno Disuelto (OD)	0.17
Coliformes Fecales (CF)	0.15
pH	0.12
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	0.10
Temperatura	0.10
Fosfatos	0.10
Nitratos	0.10
Turbidez	0.08
Sólidos Totales Disueltos (STD)	0.08

Tabla 9.

Escala de clasificación del ICA-NSF

Calidad del agua	Valor del ICA	Color
Excelente	91 - 100	
Buena	71 - 90	
Media	51 - 70	
Mala	26 - 50	
Muy mala	0 - 25	

Estas tablas muestran los factores de ponderación utilizados para calcular el índice de calidad del agua (ICA) según el método ICA-NSF y la escala de clasificación que se utiliza para determinar la calidad del agua del río Jubones en función del valor del ICA obtenido.

Además, se compararon los cálculos del Índice de Calidad del Agua (ICA) con los resultados obtenidos utilizando la herramienta en línea "Water Quality Index for Surface Water", con el fin de validar los resultados en cada punto de muestreo y así identificar las características significativas que surgieron durante la investigación.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Fase de Campo

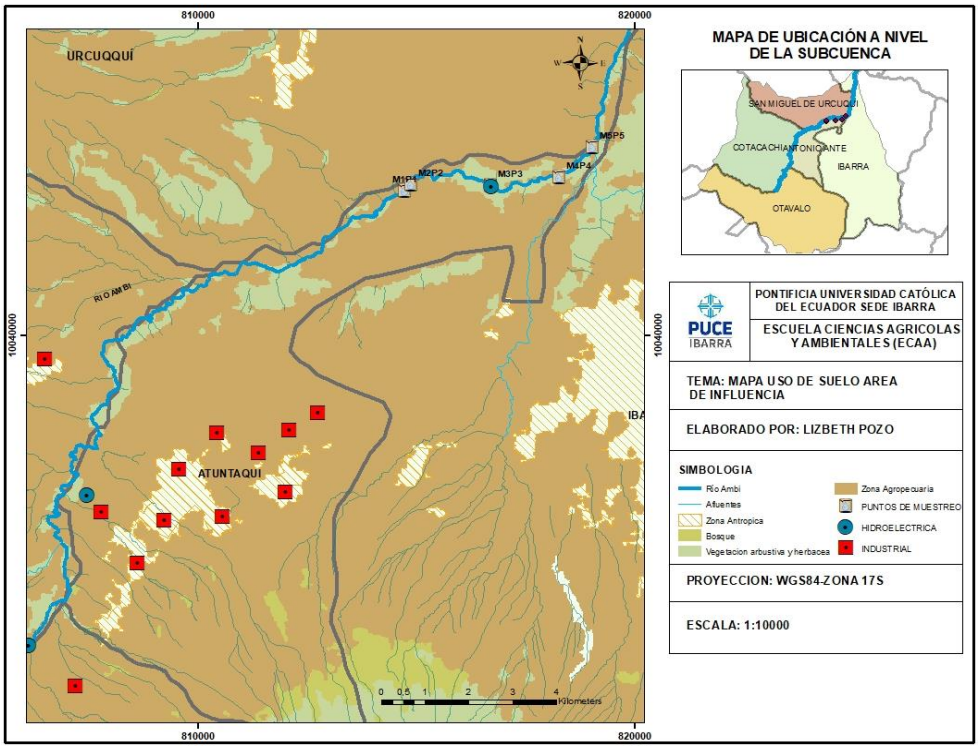
5.1.1 Delimitación de los puntos de Muestreo

Los cinco puntos de muestreo, seleccionados capturan una variedad representativa de condiciones a lo largo del tramo del río seleccionado para este estudio. Además, son puntos tomados aguas arriba y aguas abajo con diferentes características geomorfológicas y usos del suelo circundantes.

5.1.1.1. Mapa uso de suelo del área de influencia

Figura 3.

Mapa uso de suelo



El mapa uso de suelo realizado con la ayuda del software Arcgis 10.5 y las salidas de campo, muestra que la zona agropecuaria es la que más predomina en comparación a los otros usos de suelo en la parroquia Imbaya. De igual manera es importante mencionar que a lo largo del

recurso hídrico se evidencia que a su alrededor la parte industrial e hidroeléctrica son significativas. Por lo tanto, las actividades agropecuarias y antrópicas son las que influencian en la calidad de agua del recurso hídrico.

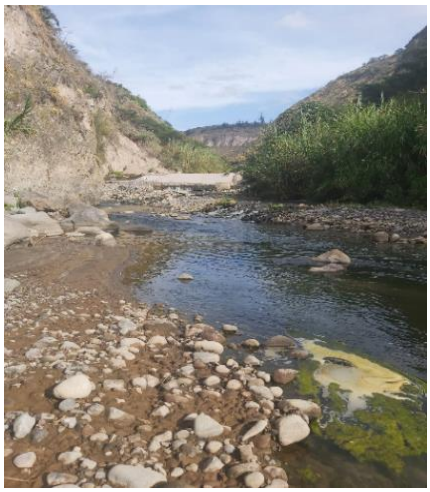
5.1.1.2. Observación Directa

En este apartado se establecieron cinco puntos de muestreo, en la Tabla 10 se detallan las características de cada uno de los puntos tomados correspondientes a las tres repeticiones realizadas. El orden de los puntos de muestreo comprende a partir del inicio de la zona de origen del río Ambi presente en la parroquia hasta la zona final, que es la unión del rio con el rio Tahuando.

Tabla 10.

Observación de los puntos de muestreo

MUESTREO 1	MUESTREO 2	MUESTREO 3
FECHA: 2023/04/27	**FECHA**:2023/05/27	**FECHA**:2023/06/27
	**Punto 1:** Limite entre Chaltura - Imbaya **Coordenadas:** 814728; 10043372 **Observaciones:** El área está rodeada de una zona herbácea, exceso de insectos como sancudos, moscos, presencia de escombros, grandes cantidades de desechos plásticos indistintamente. También presenta un fuerte mal olor.	
	**Punto 2:** Continuación del P1 **Coordenadas:** 814874; 10043536 **Observaciones:** El área está rodeada de una zona herbácea, exceso de insectos como sancudos, moscos, presencia de escombros, grandes cantidades de desechos plásticos indistintamente. También presenta un fuerte mal olor.	



Punto 3: Central Hidroeléctrica Ambi

Coordenadas: 816693; 10043508

Observaciones: El área está rodeada de una zona herbácea, exceso de insectos como sancudos, moscos, presencia de escombros, grandes cantidades de desechos plásticos indistintamente. También presenta un fuerte mal olor.



Punto 4: Túnel de Hoja Blanca

Coordenadas: 818246; 10043700

Observaciones: Zona con poca vegetación, desperdicios orgánicos e inorgánicos, escombros, etc.



Punto 5: Unión entre el rio Ambi y Tahuando

Coordenadas: 819014; 10044395

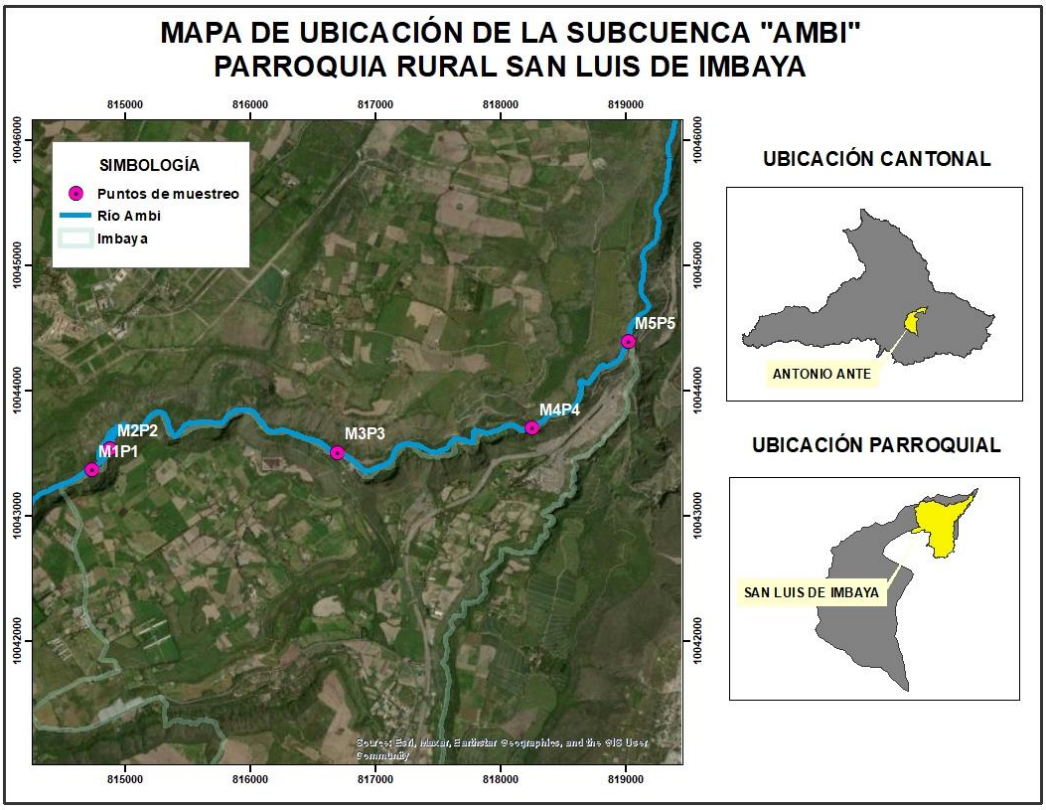
Observaciones: Este lugar presenta la ubicación de maquinarias donde arrojan escombros directamente al rio también presencia de desechos orgánicos e inorgánicos.

Según las observaciones cada uno de los puntos de muestreo presentan vegetación arbustiva y herbácea además existe la presencia de desechos orgánicos e inorgánicos en especial frascos de

fertilizantes, escombros, dentro y fuera del cauce del rio, abundante presencia de insectos como sancudos y mosquitos y mal olor.

Figura 4.

Ubicación geográfica de los puntos de muestreo



5.2. Fase de laboratorio

5.2.1. Análisis de los parámetros fisicoquímicos y biológicos

A continuación, se indican los valores obtenidos en la medición de los parámetros físico-químicos y biológicos durante los meses de abril-junio de 2023 en el Rio Ambi, Tramo Parroquia San Luis de Imbaya.

5.2.1.1. Parámetros fisicoquímicos in situ

Tabla 11.

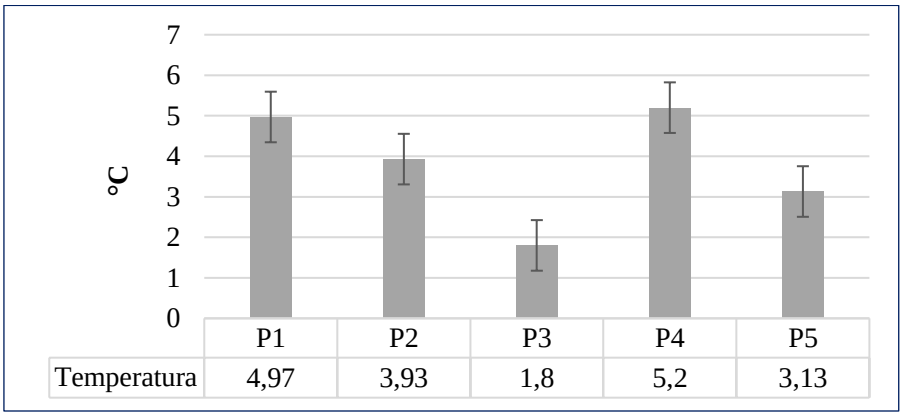
Variación de la temperatura del agua de la zona de estudio

TEMPERATURA (°C)						
Parámetro	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**LMP**
Temperatura	4,97	3,93	1,8	5,2	3,13	>3-32>

Nota. La siguiente tabla detalla la diferencia de temperatura ambiente y temperatura del agua. Los datos de esta tabla son comparados con el Límite máximo permisible (LMP) Acuerdo Ministerial 097 Libro VI, Anexo I, tabla 2

Figura 5.

Variación de la Temperatura, en la zona de estudio.



El comportamiento de la temperatura en la zona de estudio durante los meses de muestreo, nos indica que para este parámetro las temperaturas en los diferentes puntos de muestreo sufrieron varias variaciones, que van desde 1.8°C en P3 hasta 5.2°C en P4. Donde se observa que la temperatura más baja está en el punto 3 con un promedio total de (1.8°C) mientras que la más alta se encuentra en el punto P4 (5.2°C) seguida de P2 (4,97°C).

Esta variación muestra que, las diversas condiciones locales, como la profundidad del agua, la exposición solar y la geografía de la zona influyen en los valores de la temperatura. Por otra parte, P1, P2, P4 y P5 cumplen con el LMP a diferencia de P3 que se encuentra fuera del rango establecido.

Tabla 12.

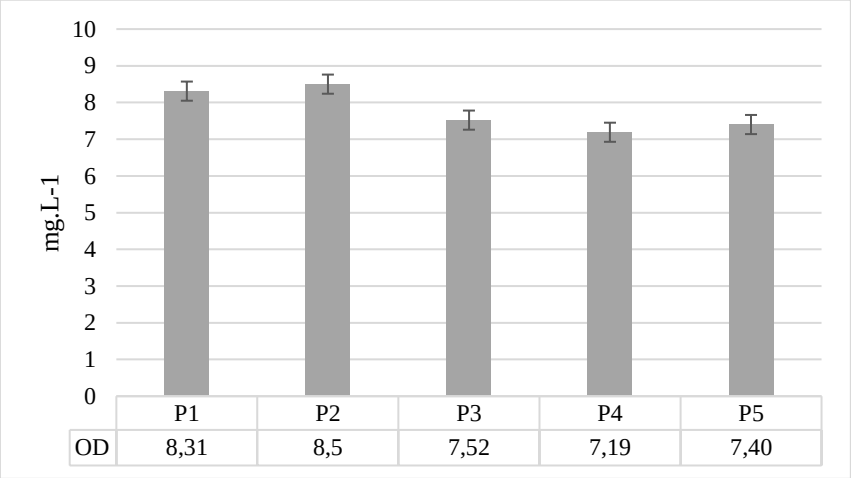
Concentración de Oxígeno Disuelto del agua de la zona de estudio

OXIGENO DISUELTO (mg. L^{-1})						
Parámetro	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**LPM**
OD	8,31	8,5	7,52	7,19	7,40	>5

Nota. La siguiente tabla detalla el promedio de OD de las tres repeticiones en los 5 puntos. Los datos de esta tabla son comparados con el Límite máximo permisible (LMP) Acuerdo Ministerial 097 Libro VI, Anexo I, tabla 2

Figura 6.

Oxígeno disuelto en la zona de estudio.



Según los resultados (tabla 12) se observa cierta variación en los niveles de oxígeno disuelto entre los diferentes puntos de muestreo (P1 a P5). El valor promedio más bajo durante todos los meses de estudio es registrado en P4 (7.19 mg. L^{-1}) lo que indica una variación local en las condiciones del agua en ese punto específico. No obstante, los valores de oxígeno disuelto en el rango de 7.19 mg. L^{-1} a 8.5 mg. L^{-1}son bastante saludables para la mayoría de los organismos acuáticos. Estos valores indican que el agua tiene una capacidad adecuada para soportar la vida acuática.

Además, todos los valores de cada uno de los cinco puntos de muestreo cumplen con el LMP dado por Acuerdo Ministerial 097

Tabla 13.

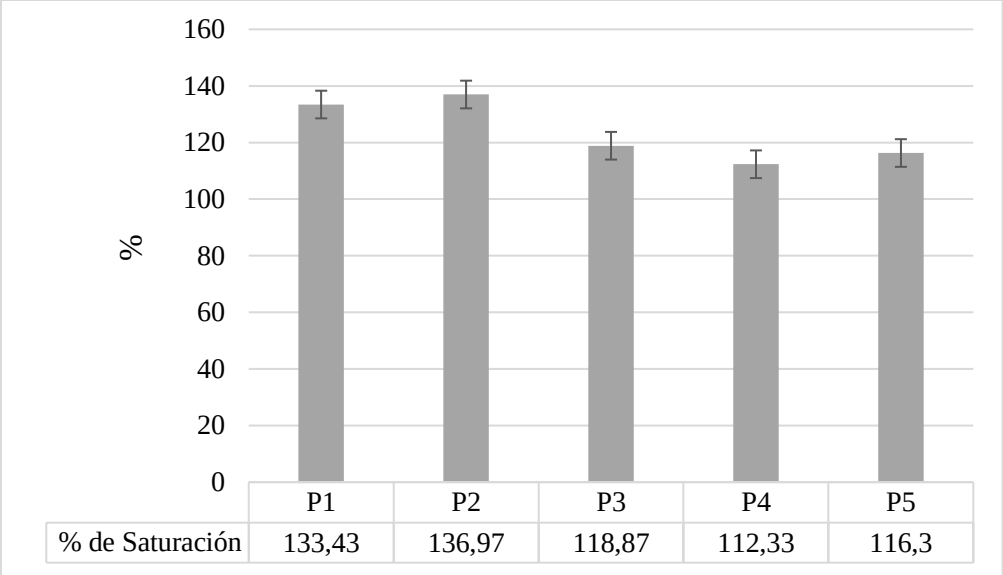
Porcentaje de saturación del agua de la zona de estudio

% DE SATURACIÓN						
Parámetro	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**LPM**
% de Saturación	133,43	136,97	118,87	112,33	116,3	>80

Nota. La siguiente tabla detalla el promedio de % de saturación de las tres repeticiones en los 5 puntos. Los datos de esta tabla son comparados con el Límite máximo permisible (LMP) Acuerdo Ministerial 097 Libro VI, Anexo I, tabla 2

Figura 7.

% de saturación, en la zona de estudio.



En base a los resultados (tabla 13) los valores del porcentaje de saturación, nos indica un valor de 136.97% en P2 siendo el más alto y el valor más bajo presenta P4 con 112.33% de saturación. Valores superiores al 100% indican una sobresaturación de oxígeno en el agua, considerándose beneficioso para la vida acuática presente en la zona de estudio. Por otro lado, todos los resultados están dentro del LPM.

5.2.1.2. Parámetros fisicoquímicos y biológicos ex situ

Tabla 14.

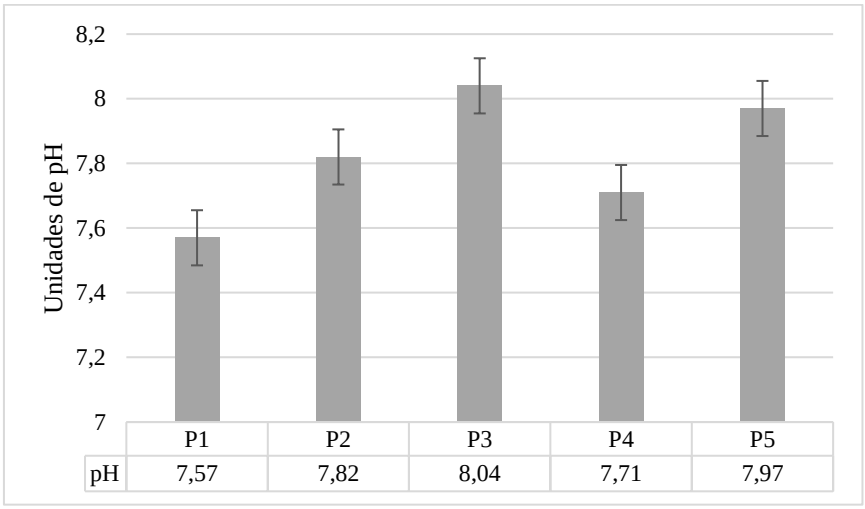
pH de agua de la zona de estudio

pH						
Parámetro	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**LMP**
pH	7,57	7,82	8,04	7,71	7,97	6.5-9

Nota. La siguiente tabla detalla el promedio de pH de las tres repeticiones en los 5 puntos. Los datos de esta tabla son comparados con el Límite máximo permisible (LMP) Acuerdo Ministerial 097 Libro VI, Anexo I, tabla 2

Figura 8.

pH, en la zona de estudio.



Los valores de pH proporcionados en la tabla oscilan entre 7.57 y 8.04 en los puntos de muestreo (P1 a P5) donde se observa un cambio significativo en el punto de muestreo P3, debido a su aumento en pH con 8.04. No obstante, todos los valores de pH indican condiciones ligeramente alcalinas en este tramo del río y cada uno de ellos cumplen con el LMP.

Tabla 15.

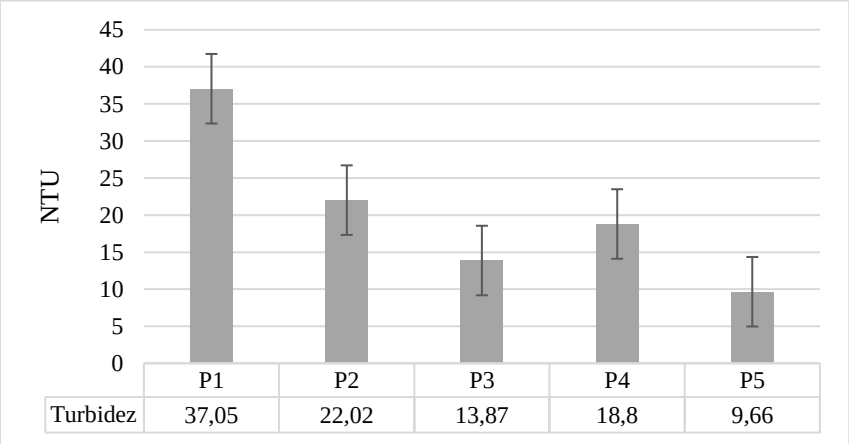
Turbidez del agua de la zona de estudio

TURBIDEZ (NTU)						
Parámetro	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**LPM**
Turbidez	37,05	22,02	13,87	18,8	9,66	0-50

Nota. La siguiente tabla detalla el promedio de Turbidez de las tres repeticiones en los 5 puntos. Los datos de esta tabla son comparados con el Límite máximo permisible (LMP) Acuerdo Ministerial 097 Libro VI, Anexo I, tabla 2

Figura 9.

Turbidez, de la zona de estudio.



Según los resultados (tabla 15) es evidente que existe una variación en los niveles de turbidez entre los diferentes puntos de muestreo (P1 a P5). Los valores oscilan desde 9.66 NTU en P5 hasta 37.05 NTU en P1.

El punto de muestreo P1 presenta el valor más alto de turbidez (37.05 NTU). La alta turbidez indica una mayor presencia de partículas suspendidas, que provienen de fuentes como la escorrentía superficial, la erosión del suelo o la actividad humana.

El valor más bajo de turbidez se encuentra en P5, que es 9.66 NTU. Este valor indica que el agua en el quinto punto de muestreo es menos turbia en comparación con los otros puntos.

Además, cada uno de los valores de los cinco puntos de muestreo cumplen con el LMP,

Tabla 16.

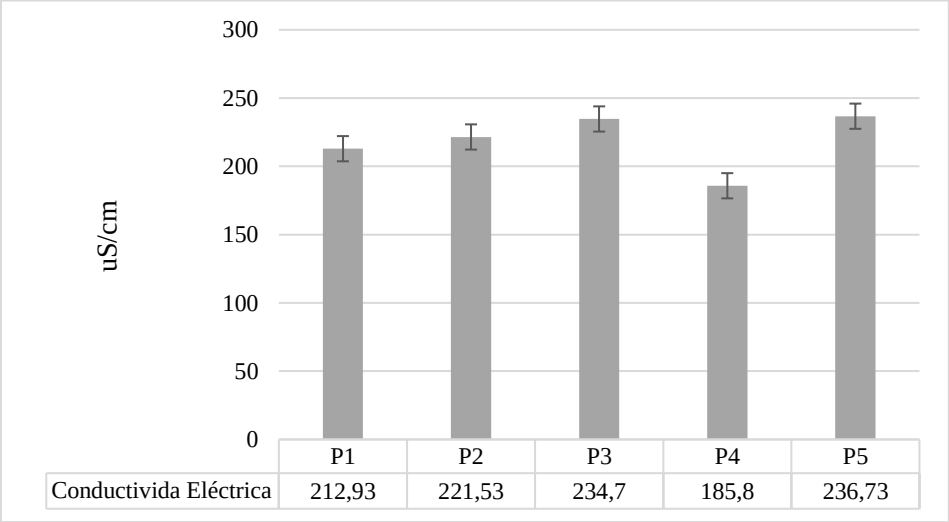
Conductividad eléctrica, del agua de la zona de estudio.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS/cm)						
Parámetro	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**LPM**
Conductividad Eléctrica	212,93	221,53	234,7	185,8	236,73	-

Nota. La siguiente tabla detalla el promedio de Conductividad Eléctrica de las tres repeticiones en los 5 puntos. Los datos de esta tabla son comparados con el Límite máximo permisible (LMP) Acuerdo Ministerial 097 Libro VI, Anexo I, tabla 2

Figura 10.

Conductividad eléctrica, de la zona de estudio.



El comportamiento de la conductividad tiene una variación significativa entre los diferentes puntos de muestreo (P1 a P5) siendo el punto de muestreo P5 con el valor más alto (236,73 µS/cm) seguido por P3 (234,7 µS/cm) a diferencia de P4 con el valor más bajo (185,8 µS/cm). No obstante, los valores de conductividad eléctrica en todos los puntos de muestreo son moderados a altos, indicando una concentración sustancial de iones disueltos en el agua.

Tabla 17.

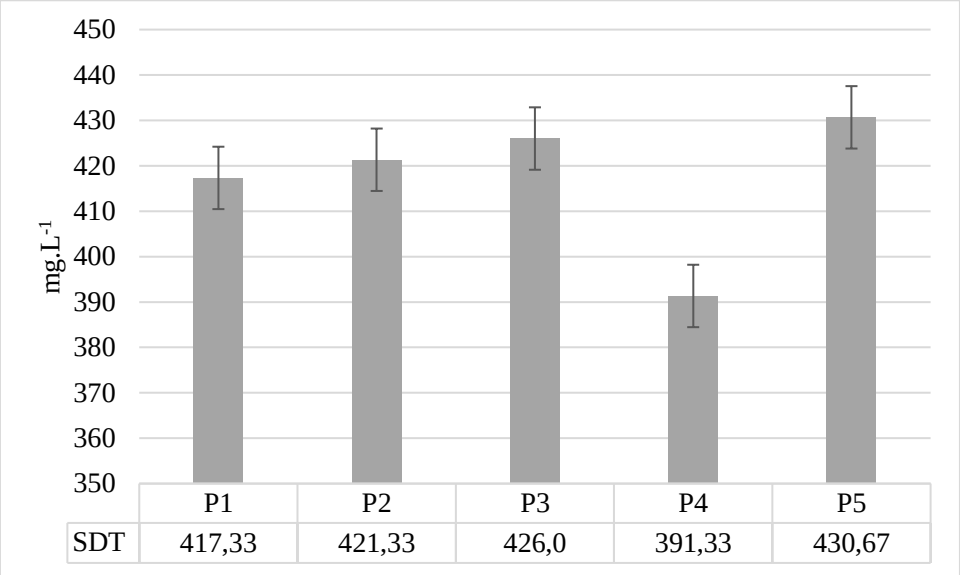
Solidos Disueltos Totales del agua de la zona de estudio

SDT (mg. L^{-1})						
Parámetro	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**LMP**
SDT	417,33	421,33	426,0	391,33	430,67	-

Nota. La siguiente tabla detalla el promedio de SDT de las tres repeticiones en los 5 puntos. Los datos de esta tabla son comparados con el Límite máximo permisible (LMP) Acuerdo Ministerial 097 Libro VI, Anexo I, tabla 2

Figura 11.

SDT, de la zona de estudio



Durante los meses de muestreo en la zona de estudio se evidencia en la tabla 17 que los valores promedio de SDT aumentan progresivamente desde P1 hasta P3, pero existe una disminución en los niveles de SDT en P4 en comparación con P3. No obstante, los niveles de SDT vuelven a aumentar en P5, siendo P5 el valor promedio más alto (430,67 mg. L^{-1}) del resto de los puntos de muestreo seguido por P3 (426,0 mg. L^{-1}) y el valor más bajo se encuentra en P4 con 391,33 mg. L^{-1}.

Esta variabilidad en los niveles de SDT indican la influencia de diversas fuentes tales como la escorrentía superficial, actividades agrícolas o la liberación de sedimentos, procesos que se dan en diferentes ubicaciones a lo largo del río.

Tabla 18.

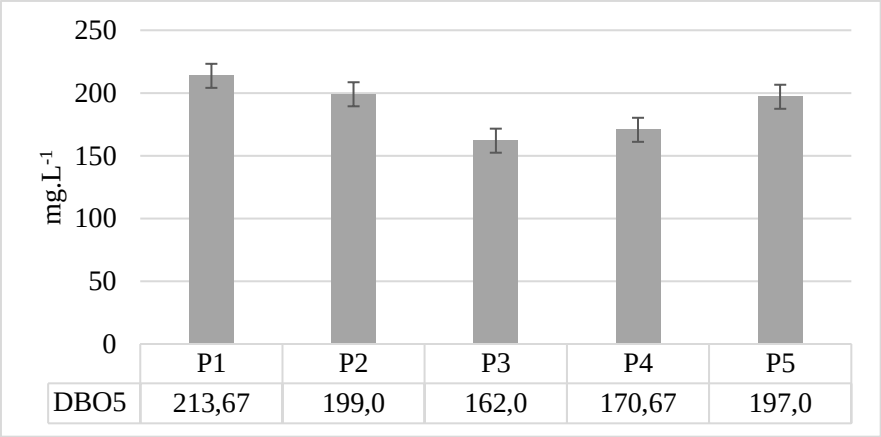
Demanda Bioquímica de Oxigeno del agua de la zona de estudio

DBO (mg. L^{-1})						
Parámetro	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**LMP**
DBO	213,67	199,0	162,0	170,67	197,0	20,0

Nota. La siguiente tabla detalla el promedio de DBO de las tres repeticiones en los 5 puntos. Los datos de esta tabla son comparados con el Límite máximo permisible (LMP) Acuerdo Ministerial 097 Libro VI, Anexo I, tabla 2

Figura 12.

DBO, de la zona de estudio



La demanda química de oxígeno registrada en los meses de muestreo de la investigación nos indica que los niveles de DBO5 disminuyen progresivamente desde P1 hasta P3. Esta disminución indica que existe una menor carga de materia orgánica en el agua. Por otra parte, se evidencia un aumento en los niveles de DBO5 en P4 y P5 en comparación con P3. Este aumento indica mayor carga de materia orgánica en esa ubicación específica. Además, ninguno de los resultados de cada uno de los cinco puntos de muestreo cumple con el LMP.

Tabla 19.

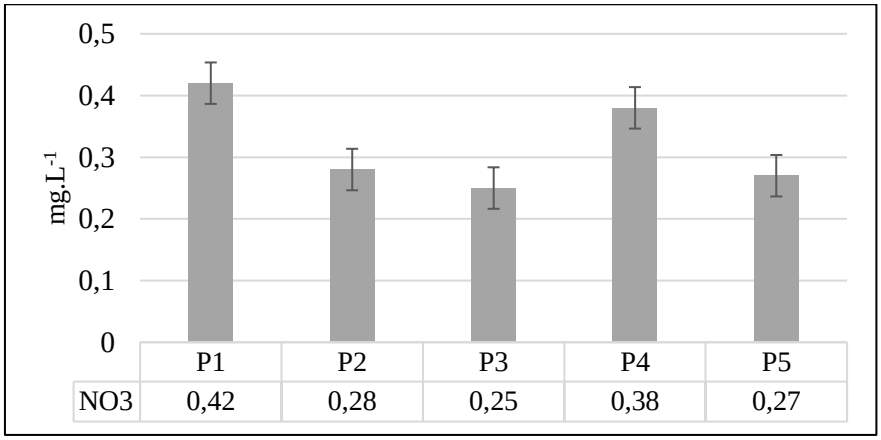
Nitratos del agua de la zona de estudio

NITRATOS (mg. L^{-1})						
Parámetro	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**LMP**
NO3	0,42	0,28	0,25	0,38	0,27	13

Nota. La siguiente tabla detalla el promedio de Nitratos de las tres repeticiones en los 5 puntos. Los datos de esta tabla son comparados con el Límite máximo permisible (LMP) Acuerdo Ministerial 097 Libro VI, Anexo I, tabla 2.

Figura 13.

Variación de nitratos de la zona de estudio



Los niveles de nitratos son relativamente bajos en todos los puntos de muestreo, oscilando entre 0.25 mg/l y 0.42 mg/l donde P1 muestra el nivel más alto de nitratos entre los cinco puntos de muestreo y P3 muestra el nivel más bajo de nitratos en comparación con el resto de los puntos de muestreo. De igual manera se evidencia que, P5 muestra el segundo nivel más bajo de nitratos. La disminución de este punto en comparación con P4 indica una menor contribución de nitratos en esta ubicación específica

Según los resultados, es evidente que existe cierta consistencia en los valores de nitratos a lo largo de los diferentes puntos de muestreo, indicando una distribución relativamente uniforme de esta sustancia en la zona de estudio, lo cual son generalmente positivos en términos de calidad del agua. Además, cada uno de los valores cumplen con el LMP dado por la normativa vigente.

Tabla 20.

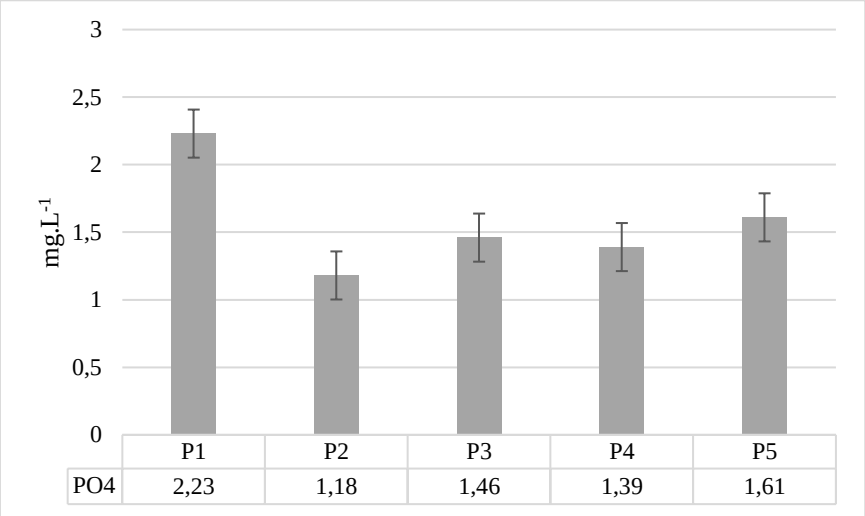
Fosfatos del agua de la zona de estudio

FOSFATOS (mg. L^{-1})						
Parámetro	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**LMP**
PO4	2,23	1,18	1,46	1,39	1,61	-

Nota: La siguiente tabla detalla el promedio de Fosfatos de las tres repeticiones en los 5 puntos. Los datos de esta tabla son comparados con el Límite máximo permisible (LMP) Acuerdo Ministerial 097 Libro VI, Anexo I, tabla 2.

Figura 14.

Variación de fosfatos de la zona de estudio



El comportamiento de los niveles de fosfatos en la zona de estudio varía entre 1.18 mg. L^{-1} y 2.23 mg/l en los diferentes puntos de muestreo (P1 a P5) donde se observa que su distribución no es uniforme. Además, es evidente que las concentraciones relativamente altas de fosfatos, están en P1 (2,23 mg. L^{-1}) y P5 (1,61 mg. L^{-1}) y en menor concentración se encuentra en P2 (1,18 mg. L^{-1}) a comparación del resto de los puntos.

No obstante, todos los resultados obtenidos de este parámetro indican que están en un rango moderado, lo cual no afecta al entorno acuático.

Tabla 21.

Coliformes fecales totales del agua de la zona de estudio

COLIFORMES FECALES TOTALES (NMP/100ml)						
Parámetro	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**LMP**
Coliformes Fecales Totales	MNPC	MNPC	MNPC	MNPC	MNPC	-

Nota. Los datos de esta tabla son comparados con el Límite máximo permisible (LMP) Acuerdo Ministerial 097 Libro VI, Anexo I, tabla 2; MNPC: Muy Numerosas para Contar.

El comportamiento de los coliformes fecales totales durante los meses de muestreo en la zona de estudio, indican concentraciones relativamente altas en todos los puntos de muestreo. La presencia de coliformes fecales a estos niveles indica contaminación fecal significativa en la fuente de agua por desechos humanos o animales.

5.2.1.3. Comparación del análisis con el Acuerdo Ministerial 097 Libro VI, Anexo I, tabla 2

Tabla 22.

Parámetros fisicoquímicos y biológicos

Parámetro	Unidad	Puntos Rio Ambi					LMP
		P1	P2	P3	P4	P5	
Temperatura	°C	4,97	3,93	1,80	5,20	3,13	>3-32>
OD	mg/l	8,31	8,50	7,52	7,19	7,40	>5
%OD	%	133,43	136,97	118,87	112,33	116,3	>80
pH	pH	7,57	7,82	8,04	7,71	7,97	6.5-9
Conductividad	µS/cm	212,93	221,53	234,67	185,8	236,73	-
Turbidez	NTU	37,05	22,02	13,87	18,80	9,66	0-50
SDT	mg/l	417,33	421,33	426,0	391,33	430,67	-
DBO	mg/l	213,67	199,0	162,00	170,67	197,0	20
Nitratos	mg/l	0,42	0,28	0,25	0,38	0,27	13
Fosfatos	mg/l	2,23	1,18	1,46	1,39	1,61	-
C. fecales totales	NMP/100	MNPC	MNPC	MNPC	MNPC	MNPC	-

Nota: Los datos de esta tabla son comparados con la normativa Acuerdo Ministerial 097 Libro VI, Anexo I, tabla 2. MNPC: Muy Numerosas para Contar

Según los valores obtenidos en comparación con el reglamento del Anexo 1 del TULSMA para el uso del agua para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios (tabla 22) los niveles de oxígeno disuelto y la saturación de oxígeno en el agua están por encima del límite permisible lo cual cumple con lo establecido debido a que sus niveles son aceptables.

De igual forma, los parámetros que cumplen con el límite permitido en cada uno de los puntos de muestreo son el pH, la turbidez y los nitratos como también los valores de la temperatura para los puntos de muestreo P1, P2, P4 y P5 según el límite especificado (>3-32>) a diferencia del punto P3 (1,80 °C) que no cumple con el rango permitido. Además, como es evidente todos los valores medidos de DBO exceden el límite permisible de 20 mg/l, lo cual es un indicativo de que no cumple con los estándares establecidos.

5.2.1.4. Comparación del análisis con la normativa Acuerdo Ministerial 097 Libro VI, Anexo I, tabla 3

Tabla 23.

Parámetros fisicoquímicos y biológicos

Parámetro	Unidad	Puntos Rio Ambi					LMP
		P1	P2	P3	P4	P5	
Temperatura	°C	4,97	3,93	1,80	5,20	3,13	-
OD	mg/l	8,31	8,50	7,52	7,19	7,40	>3
%OD	%	133,43	136,97	118,87	112,33	116,3	-
pH	pH	7,57	7,82	8,04	7,71	7,97	6-9
Conductividad	µS/cm	212,93	221,53	234,67	185,8	236,73	-
Turbidez	NTU	37,05	22,02	13,87	18,80	9,66	-
SDT	mg/l	417,33	421,33	426,0	391,33	430,67	3000
DBO	mg/l	213,67	199,0	162,00	170,67	197,0	-
Nitratos	mg/l	0,42	0,28	0,25	0,38	0,27	-
Fosfatos	mg/l	2,23	1,18	1,46	1,39	1,61	-
C. fecales totales	NMP/100	MNPC	MNPC	MNPC	MNPC	MNPC	1000

Nota. La tabla nos indica los valores de los distintos parámetros comparados con el reglamento del Anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097, Anexo I, tabla 3; MNPC: Muy Numerosas para Contar

De forma general los valores obtenidos en comparación con el reglamento del Anexo 1 del TULSMA para el uso del agua para la actividad de riego agrícola (Tabla 23) se evidencia que todos los valores de OD en los puntos de muestreo están por encima del límite permisible de >3 mg/l, lo que indica niveles adecuados de oxígeno disuelto para el riego. De igual manera todos los valores de pH (P1 a P5) están dentro del rango permitido de 6 a 9, indicando condiciones aceptables en cuanto a acidez o alcalinidad del agua. No obstante, los valores de SDT están por debajo del límite permisible de 3000 mg/l, pero de todas maneras cumplen con lo establecido indicando que están en niveles aceptables. A diferencia de los valores promedio de coliformes fecales totales en todos los puntos muestreados superan el valor límite permisible dado por el reglamento, lo que indica una presencia de contaminación fecal y, por ende, es un riesgo para la actividad de riego agrícola.

5.2.2. Índice de Calidad del Agua (ICA)

Para la determinar el índice de calidad de agua se utilizó método WQI (en sus siglas en español ICA) donde se analizó las siguientes variables: Coliformes fecales totales, DBO5, % OD, nitratos, pH, temperatura, SDT, fosfatos y turbidez

Tabla 24.

Resultados ICA, primer punto

i	Parámetros	Sub i	wi	subi * wi
1	Coliformes fecales	3	0,15	0.45
2	pH	92	0,12	11,04
3	DBO	2	0,10	0,2
4	NO	92	0,10	9,2
5	PO	26	0,10	2,6
6	Temperatura	43	0,10	4,3
7	Turbidez	50	0,08	4
8	STD	40	0,08	3,2
9	OD	80	0,17	13,6
TOTAL ICA				**48.59**

Según el resultado obtenido en la tabla ICA establecida por Brown, indica que en el punto uno el agua se encuentra en la categoría MALA porque está dentro del rango 26-50 con un valor de 48.59.

Tabla 25.

Resultados del ICA, segundo punto

i	Parámetros	Sub i	wi	subi * wi
1	Coliformes fecales	3	0,15	0.45
2	pH	87	0,12	10,44
3	DBO	2	0,10	0,2
4	NO	98	0,10	9,8
5	PO	38	0,10	3,8
6	Temperatura	54	0,10	5,4
7	Turbidez	60	0,08	4,8
8	STD	43	0,08	3,44
9	OD	83	0,17	14,11
TOTAL ICA				**52,44**

Según el resultado obtenido en la tabla ICA establecida por Brown, indica que en el punto dos

el agua se encuentra en estado REGULAR a causa de que está dentro del rango 51-70 con un valor de 52.44.

Tabla 26.

Resultados del ICA, tercer punto

i	Parámetros	Sub i	wi	subi * wi
1	Coliformes fecales	3	0,15	0.45
2	pH	82	0,12	9,84
3	DBO	2	0,10	0,2
4	NO	96	0,10	9,6
5	PO	35	0,10	3,5
6	Temperatura	80	0,10	8
7	Turbidez	69	0,08	5,52
8	STD	45	0,08	3,6
9	OD	91	0,17	15,47
TOTAL ICA				**55,73**

Según el resultado obtenido en la tabla ICA establecida por Brown, indica que en el punto tres el agua se encuentra en estado REGULAR ya que está dentro del rango 51-70 con un valor de 55.73.

Tabla 27.

Resultados del ICA, cuarto punto

i	Parámetros	Sub i	wi	subi * wi
1	Coliformes fecales	3	0,15	0.45
2	pH	89	0,12	10,68
3	DBO	2	0,10	0,2
4	NO	94	0,10	9,4
5	PO	37	0,10	3,7
6	Temperatura	42	0,10	4,2
7	Turbidez	63	0,08	5,04
8	STD	48	0,08	3,84
9	OD	96	0,17	16,32
TOTAL ICA				**53,38**

Según el resultado obtenido en la tabla ICA establecida por Brown, indica que en el punto cuatro el agua se encuentra en estado REGULAR debido a que está dentro del rango 51-70 con un valor de 53.38.

Tabla 28.

Resultados del ICA, quinto punto

i	Parámetros	Sub i	wi	subi * wi
1	Coliformes fecales	3	0,15	0.45
2	pH	86	0,12	10,32
3	DBO	2	0,10	0,2
4	NO	91	0,10	9,1
5	PO	31	0,10	3,1
6	Temperatura	65	0,10	6,5
7	Turbidez	82	0,08	6,56
8	STD	43	0,08	3,44
9	OD	92	0,17	15,64
TOTAL ICA				**54,86**

Según el resultado obtenido en la tabla ICA establecida por Brown, indica que en el punto dos el agua se encuentra en estado REGULAR porque está dentro del rango 51-70 con un valor de 54.86

Figura 15.

Valores del ICA de cada uno de los puntos de muestreo.

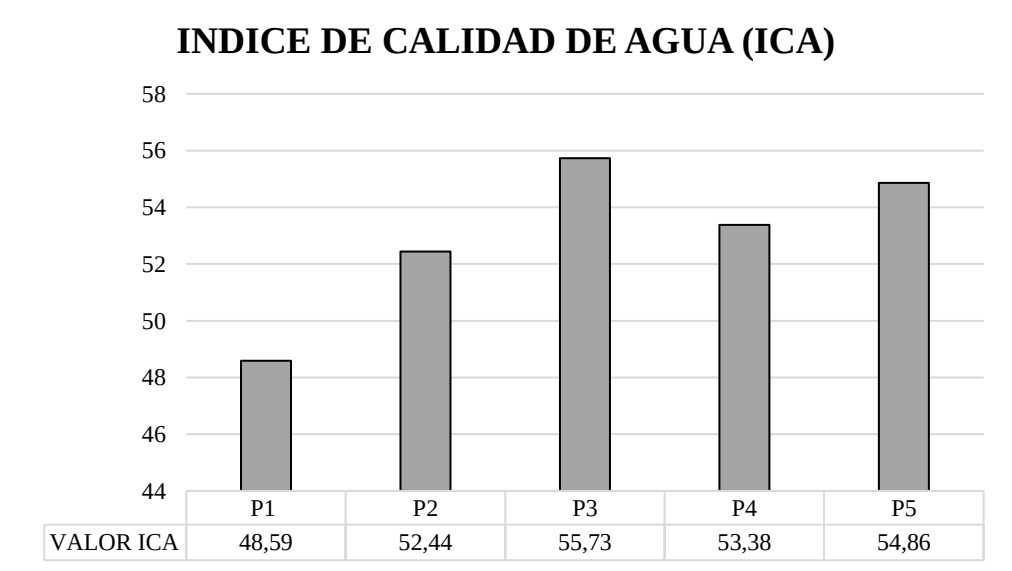


Tabla 29.

Resultados del ICA de los cinco puntos, promedio total

ICA PROMEDIO			
PUNTOS	**VALOR ICA**	**PROMEDIO ICA**	**RANGO DE CALIDAD**
P1	48,59	53,00	REGULAR
P2	52,44		
P3	55,73		
P4	53,38		
P5	54,86		

Tomando en cuenta los cálculos realizados con ayuda de la tabla ICA establecida por Brown, se evidencia que el promedio total del ICA de la zona de estudio es de 53.00, lo que determina que la calidad del agua es REGULAR ya que se encuentra dentro del rango de 51-70. Un cuerpo de agua con esta clasificación generalmente exhibe una menor variedad de organismos acuáticos y tiende a experimentar un aumento frecuente en el crecimiento de las algas.

5.2.3. Evaluación de la Concentración de Cromo hexavalente

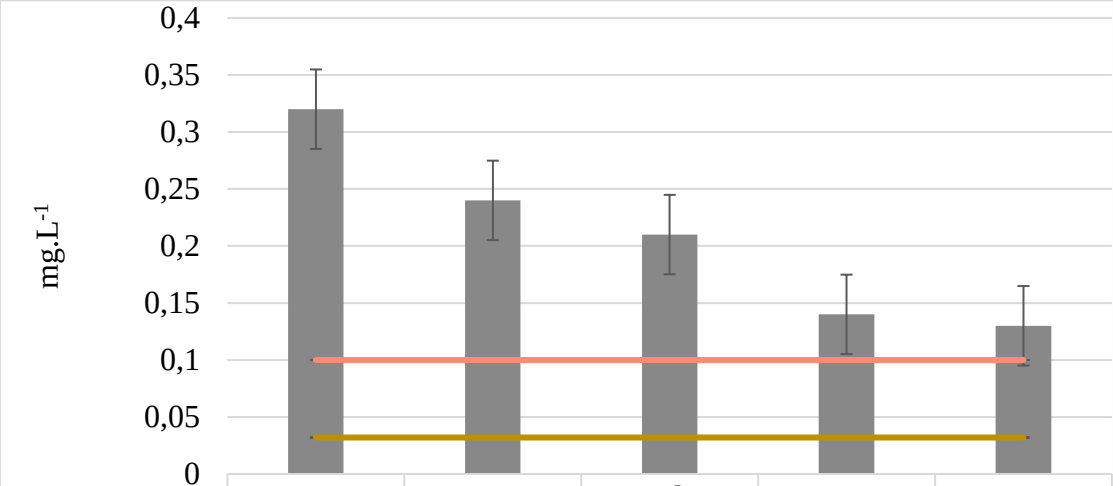
Tabla 30.

Resultados de la concentración de Cromo hexavalente en cada punto de muestreo comparados con la normativa Acuerdo Ministerial 097, ANEXO 1, TABLA 2 Y 3

CROMO HEXAVALENTE (mg/l)							
Parámetro	**Puntos Rio Ambi**					**LMP**	
	P1	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**A. Dulce**	**Riego**
Cr VI	0,32	0,24	0,21	0,14	0,13	0,032	0,10

Figura 16.

Variación del Cromo hexavalente en la zona de estudio



	P1	P2	P3	P4	P5
Cr VI	0,32	0,24	0,21	0,14	0,13
A. Dulce	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032
Riego	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

Según los resultados, los niveles de cromo hexavalente varían desde 0.32 mg. L^{-1} en el punto P1 hasta 0.13 mg. L^{-1} en el punto P5, donde se observa que las concentraciones del metal disminuyen de manera gradual a lo largo de los diferentes puntos analizados, desde el punto P1 hasta el punto P5. Esta disminución puede deberse a diversos cambios en las condiciones ambientales, como la temperatura, el pH, la presencia de microorganismos, y a procesos naturales como la adsorción a las partículas del suelo, la precipitación entre otros.

Es evidente que los niveles de cromo hexavalente en todos los puntos sobrepasan el límite máximo permitido establecido para agua dulce (0.032 mg. L^{-1}) y para riego (0.10 mg. L^{-1}) P5 (0.10 mg. L^{-1}) cumple con lo permitido excepto los puntos P1 a P4. Su presencia en el cuerpo hídrico es un grave riesgo para el ecosistema acuático ya que puede afectar a las distintas especies que están presentes en el agua debido a que este metal se bioacumula en sus cuerpos, lo que puede tener efectos negativos en su salud, en la salud de los animales que los consumen y en la salud de los seres humanos.

Tabla 31.

Resultados del ICA de los cinco puntos, promedio total en comparación con la normativa Acuerdo Ministerial 097, ANEXO 1, TABLA 2 Y 3

CROMO HEXAVALENTE (mg/l) TRAMO PARROQUIA SAN LUIS DE IMBAYA								
Parámetro	**Puntos Rio Ambi**					**Promedio Total**	**LMP**	
	P1	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**		**A. Dulce**	**Riego**
Cr VI	0,32	0,24	0,21	0,14	0,13	0,21	0,032	0,10

De acuerdo con las concentraciones de cromo hexavalente durante toda la investigación en los puntos 1, 2, 3 la presencia de cromo hexavalente es relativamente alta a diferencia de los puntos 4 y 5. Además, el análisis indica que el promedio total de cromo hexavalente en el río Ambi en la zona de estudio es de 0.21 mg/l. Este valor señala una concentración elevada de cromo hexavalente en el río, superando significativamente los límites permitidos del Acuerdo Ministerial 097, tanto para agua dulce (0.032 mg. L^{-1}) como para uso del agua en riego agrícola (0.10 mg. L^{-1}).

5.4. Discusión

La calidad de diferentes tipos de agua se ha evaluado mediante variables físicas, químicas y biológicas, ya sea de manera individual o combinada. Los parámetros físico-químicos ofrecen una visión detallada de la composición química y las propiedades físicas del agua, siendo más rápidos y permitiendo un monitoreo más frecuente (Zúñiga et al., 2016). Muchas veces la calidad del agua de un cuerpo hídrico puede ser alterada por causas naturales y externas, los cuales ejercen una influencia en el ecosistema acuático del río (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 1988). Murrell et al. (2022) recomiendan, emplear los siguientes indicadores (temperatura, conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto y sólidos totales disueltos) para obtener una rápida evaluación general de la calidad de un ecosistema. En base a los resultados la calidad de agua del rio Ambi en el tramo San Luis de Imbaya es regular.

En la evaluación de los nueve parámetros establecidos por Brown para obtener la calidad de agua en la zona de estudio se obtuvo altas concentraciones oxígeno disuelto que van desde

7.19-8.50 mg/l. Padilla (2020) menciona que normalmente, un incremento en la concentración de oxígeno disuelto sugiere una mayor calidad del agua en un cuerpo hídrico. Por otra parte, los valores de pH en los cinco puntos de muestro van desde 7.57-8.04 unidades de pH. De acuerdo con León Carrasco (2014), la vida acuática es mejor dentro de un rango de pH entre 5 y 9. Esta condición favorece una interacción positiva en los ecosistemas y la supervivencia de las especies presentes en el agua de la zona de influencia.

La conductividad eléctrica se incrementa en proporción directa a la cantidad de sólidos disueltos presentes en el agua. Por lo tanto, a medida que la concentración de sólidos disueltos aumenta, la conductividad también aumenta o de manera inversa. (Equipos y Laboratorio, s.f.). Los resultados obtenidos en el periodo de estudio tanto de conductividad eléctrica, como de sólidos disueltos totales están dentro o por debajo de los valores establecidos por la normativa. Según un estudio realizado por Espinoza (2005), indica que, por lo general, las aguas que presentan una concentración de sólidos disueltos totales inferior a 500 mg/L son adecuadas para ser utilizadas en actividades domésticas y agropecuarias.

A diferencia, con los parámetros previamente mencionados, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), determinada mediante el análisis de muestras en laboratorio, arrojó valores que exceden el límite permisible lo que significa altos niveles de contaminación por materia orgánica dicho esto, las concentraciones de DBO detectadas en el área de estudio indican que los vertidos de aguas residuales son significativos por ende los efectos y/o impactos en el rio son más evidentes. De igual manera los valores de coliformes fecales sobrepasan el rango permitido por la normativa. Según León Carrasco (2014), cuando estos elementos se encuentran en el agua a altas concentraciones, señalan la presencia de contaminación, lo que la convierte en un riesgo bacteriológico para el consumo humano, ya que puede ocasionar enfermedades intestinales en quienes la consuman.

Con referencia a las concentraciones de nitratos se encuentran dentro de los límites permisibles. No obstante, en un estudio realizado por Alfaro, Castro, & Araya, (2017), mencionan que, la presencia de nitratos se relaciona con los residuos de fertilizantes utilizados para los cultivos, e incluso de plaguicidas además estos residuos de agroquímicos arrastrados en el agua han llegado a afectar a poblaciones. Por otro lado, los niveles de fosfatos sobre pasan el valor permitido que van desde 1.18-2.23 mg/l. Al sobrepasar el valor máximo admisible, es

clara señal de afectación por actividades humanas. De acuerdo con Alfaro, Castro, & Araya, (2017), la elevada concentración de fosfatos en el agua de ese manantial se debe, entre otros factores, al uso indiscriminado de abonos inorgánicos con fosfatos solubles.

El cromo es uno de los elementos presentes en las aguas residuales provenientes de diversos procesos industriales (Castillo et al., (2021) además por ser un elemento altamente tóxico para el ser humano está clasificado por la IARC (International Agency for Research on Cancer) en el Grupo I de sustancias cancerígenas (Téllez, Carvajal, & Gaitán, 2004). De acuerdo con Lermanda et al., (2009), el cromo, que se encuentra presente en desechos líquidos, es un subproducto de una amplia gama de industrias, que incluyen la industria textil, el curtido de cueros, la fabricación de papel y cartón, la petroquímica, la producción de fertilizantes, refinerías, metalurgia, fabricación de vidrio, cemento, amianto, pinturas, cerámica, fungicidas, catálisis y procesos de galvanización.

La presencia de cromo hexavalente en el tramo de la Parroquia San Luis de Imbaya van desde 0.32 mg/l hasta 0.13 mg/l con un promedio total de 0.21 mg/l lo que significa que sobrepasa el límite permisible. No obstante, en un estudio realizado por Enriquez (2021) en el río Pichaví-Cotacachi, en el cual evaluó seis puntos de muestro, obtuvo valores de cromo hexavalente en el punto 5 de 0,016 mg/l y en punto 6 de 0,048 mg/l, puntos donde existe la presencia de curtiembres artesanales y estos valores de cromo hexavalente desembocan directamente al Río Ambi sin previo tratamiento. De igual manera, en el rio Ambi, Fuentes & Villegas (2023) encontraron concentraciones de cromo hexavalente en dos puntos de muestreo, un valor fue de 0.02 mg/l en el punto 4 tomado en la comunidad de “Piabachupa” y el valor mas alto de 0.67 mg/l en el punto 7 tomado en el puente “Vía Imantag” por la parroquia de Atuntaqui.

Arauzo et al. (2003) señalan, que la presencia elevada de cromo hexavalente en un río se debe al vertido sin control de este metal al ecosistema acuático, lo que conlleva a la reducción de la biodiversidad y daños en la fauna acuática. Esto se debe principalmente a la incapacidad de la mayoría de los sistemas de recolección de aguas residuales para separar los efluentes urbanos e industriales. Además, los altos niveles de cromo son preocupantes debido a sus posibles efectos en la salud humana. Por ende, la implementación de medidas regulatorias efectivas, tecnologías de tratamiento avanzadas y la participación de la comunidad son pasos

esenciales para abordar esta problemática y garantizar un futuro sostenible para el río Ambi y sus habitantes. Este tipo de investigaciones deben ser tomadas en cuenta por las autoridades competentes locales y provinciales debido a que el estado del río ayudara a tomar acciones ante posibles eventos no deseados.

5.5. Propuesta de reducción del cromo hexavalente en el Rio Ambi

El río Ambi ha experimentado un aumento preocupante en la concentración de cromo en los últimos años, lo que plantea riesgos para la salud humana y el ecosistema acuático. Esta propuesta busca abordar este problema mediante medidas de prevención y mitigación.

Objetivos:

- Reducir la concentración de cromo en el río Ambi a niveles seguros para la vida acuática y el uso humano.
- Implementar medidas sostenibles que prevengan la contaminación futura por cromo.

Tabla 32.

Programa de Monitoreo y Evaluación Continua

PROGRAMA DE MONITOREO Y EVALUACIÓN CONTINUA			
Objetivo:	Evaluar regularmente la calidad del agua y el impacto del cromo en el ecosistema del río Ambi.		
Responsables:	Gobierno Provincial de Imbabura (Gestión Ambiental), GAD Antonio Ante (Gestión Ambiental) y Juntas Parroquiales		
Acción/ Medida propuesta	**Verificadores**	**Indicadores**	**Recursos**
Implementación de Estaciones de Monitoreo	Registros de adquisición de equipos.	Número de estaciones de monitoreo	-Medidores de calidad del agua -Personal capacitado para la recolección de muestras y uso de equipos -Laboratorios equipados para el análisis de muestras. -Financiamiento
Monitoreo de la Calidad del Agua	Registros de análisis de laboratorio y resultados	Frecuencia de muestreo cumplida según lo programado.	
Evaluación Ecológica	Documentación de datos recopilados y análisis realizados.	Porcentaje de áreas evaluadas según lo programado.	

Tabla 33.

Programa de Control de Fuentes de Contaminación

PROGRAMA DE CONTROL DE FUENTES DE CONTAMINACIÓN			
Objetivo:	Identificar y regular las fuentes industriales y municipales de descarga de cromo en el río Ambi.		
Responsables:	Gobierno Provincial de Imbabura (Gestión Ambiental), GAD Antonio Ante (Gestión Ambiental) y Juntas Parroquiales		
Acción/ Medida propuesta	**Verificadores**	**Indicadores**	**Recursos**
Implementación de Tecnologías de Tratamiento como precipitación química, electrocoagulación, sistemas de adsorción, entre otros	Registro de adquisición e instalación de equipos de tratamiento.	Porcentaje de reducción de contaminantes	-Personal capacitado -Sistemas de información geográfica (SIG) -Financiamiento
Inspecciones y Cumplimiento Normativo	Informes de inspección Documentación de cumplimiento normativo.	Frecuencia de inspecciones realizadas por año. Porcentaje de industrias que cumplen con la normativa después de las inspecciones.	

Tabla 34.

Programa de Sensibilización y Educación Ambiental

PROGRAMA DE SENSIBILIZACIÓN Y EDUCACIÓN AMBIENTAL			
Objetivo:	Concientizar a la comunidad sobre los riesgos asociados con la contaminación por cromo y promover acciones individuales y colectivas para reducir su impacto.		
Responsables:	Gobierno Provincial de Imbabura (Gestión Ambiental), GAD Antonio Ante (Gestión Ambiental) y Juntas Parroquiales		
Acción/ Medida Propuesta	**Verificadores**	**Indicadores**	**Recursos**
Capacitación a las industrias locales y comunidades sobre prácticas de gestión de residuos seguras y sostenibles.	Registro de asistencia a los talleres y charlas.	Porcentaje de cambio en la percepción y actitudes de la comunidad.	-Material educativo -Personal capacitado -Herramientas y suministros para la realización de actividades prácticas -Financiamiento
Campañas de Limpieza y Revegetación	Registro de voluntarios	Porcentaje de reducción de basura en el área	
Promoción y difusión de los eventos a la comunidad.	Informes de seguimiento sobre el alcance y la respuesta de la comunidad a las campañas.	Número total de asistentes a los eventos promocionados.	

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

- Las actividades que se realizan en el área de influencia, las cuales generan un impacto negativo en el rio Ambi, son la ganadería, la agricultura y la actividad industrial, por ende, son la principal causa de degradación del rio delimitando los puntos críticos para la recolección de muestras a evaluar.
- La calidad del agua en el río bajo estudio se ha evaluado como regular según los parámetros analizados, lo que apunta a la presencia de contaminación, indicando que la salud del río está comprometida.
- La evaluación de los nueve parámetros físicos, químicos y biológicos en relación con las normativas ecuatorianas revela que la temperatura, pH, turbidez, OD, SDT, nitratos cumplen con los límites establecidos. Sin embargo, se identificaron tres parámetros, DBO, PO y Coliformes fecales totales, que superan los límites máximos permitidos (LMP) establecidos por la normativa vigente. Lo que indica una alteración en la calidad del agua lo que es perjudicial para la vida acuática, la salud humana y la integridad del ecosistema del río.
- La identificación de una concentración de cromo hexavalente de 0.21 mg/l en la zona de estudio que supera el límite máximo permisible, según la normativa vigente tabla 2 y 3, plantea riesgos significativos para la salud del ecosistema acuático y, por ende, para la salud pública.
- La utilización tradicional de estas aguas para riego agrícola intensifica las preocupaciones sobre la posible contaminación de los alimentos y la exposición humana a través de esta vía.
- Por medio de la implementación del plan de reducción del Cromo hexavalente en el rio Ambi se pretende proteger la salud humana, preservar la vida acuática, salvaguardar el ecosistema con el propósito de mejorar el recurso hídrico.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

- Es importante monitorear de manera mensual la calidad del agua del rio Ambi, agregando indicadores biológicos que permitan tener un mejor panorama del estado ecológico del agua de riego.
- Se recomienda a las autoridades locales, los grupos comunitarios, las organizaciones ambientales y las industrias, implementar el plan de reducción propuesto para evitar la contaminación del recurso mediante un buen desarrollo en la administración de desechos, en métodos agrícolas sustentables y implementación de instalaciones de tratamiento para aguas residuales.
- La entidad técnica del GAD Antonio Ante, debe trabajar en el desarrollo e implementación de tecnologías de tratamiento específicas para disminuir la presencia de cromo hexavalente en el agua, tales como sistemas de filtración, tratamientos químicos o tecnologías de adsorción, con el objetivo de eliminar o reducir de manera efectiva este contaminante.
- Se sugiere al cuerpo técnico ambiental del GPI, GAD y Juntas Parroquiales de cada cantón, informar a la comunidad local sobre los riesgos asociados con la presencia de cromo hexavalente, enfatizando la conciencia ambiental y la participación activa de la comunidad en la protección y preservación del recurso hídrico.

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3M Microbiology. (2017). *Guia de Interpretacion Placas Petrifilm™ para el Recuento de E. coli/Coliformes.* https://multimedia.3m.com/mws/media/444950O/3m-petrifilm-e-coli-coliform-count-plate-interpretation-guide-spanish.pdf.

Alfaro, J. D., Castro, G. C., & Araya, G. S. (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). *Tecnología en Marcha,30*(4), 15-27, https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v30n4/0379-3982-tem-30-04-15.pdf.

Almeida, L. (2014). *Una revisión de la evaluación de la calidad del agua de los ríos de la provincia de Imbabura* [Tesis de Grado, Universidad Técnica Particular De Loja]. https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/8370/1/Almeida_Betancourt_Lucio_Antonio.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

Arauzo, M., Rivera, M., Valladolid, M., Noreña, C. & Cedenilla O. (2003). Contaminación por cromo en el agua intersticial, en el agua del cauce y en los sedimentos del río Jarama. *Limnetica,22*(2),85-98. https://digital.csic.es/handle/10261/35521

Atif, M., Sattar, S., Nawaz, R., Al-Hussain, S., Rizwan, M., Bukhari, A., . . . Zaki, M. (2023). Enhancing chromium removal and recovery from industrial wastewater using sustainable and efficient nanomaterial: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 263*. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651323007352

Baquerizo, M., Acuña, M., & Solis, M. (2019). Contaminación de los ríos: caso río Guayas y sus afluentes. Manglar, *Investigación Cientifica,16*(1), 63-70. *https://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/118/177*.

Basantes, C. L., & Andrade, J. C. (2022). Evaluación de la calidad del agua del río Chibunga por mediodel Índice EPT*. Dominio de las Ciencias , 8*(4), 707-725, https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/3101/7341

Castillo, G., Salas, P., Logroño, M. A., & Vinueza, M. F. (2021). Hexavalent Chromium in Waters for Human Consumption and Irrigation en the Guano Canton. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M, 1*(1),524–532, https://doi.org/10.18502/espoch.v1i1.9592.

Chidiac, S., Najjar, P., Ouaini, N., Rayess, Y., & Azzi, D. (2023). A comprehensive review of water quality indices (WQIs): history, models, attempts and perspectives. *Rev Environ Sci Biotechnol, 22*(2), 349–395. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10006569/

Dávalos, N. (11 de septiembre de 2021). Los ríos Guayas y Machángara son los más contaminados del país. *Primicias*.https://www.primicias.ec/noticias/tecnologia/rios-guayas-machangara-contaminados-pais/

Eghonghon, K., Osagie, U., Birund, R., Nwankwo, W., Adelaja, O., Kamdem, H., . . . Uzuazor, C. O. (2021). Effect of hexavalent chromium on the environment and removal techniques: A review. *Journal of Environmental Management, 280*. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479720317345

Enriquez, V. (2021). *Evaluación de la contaminación de actividades curtiembre con énfasis en Cromo Hexavalente, en el rio Pichaví* [Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte]. http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11495.

EPA. (23 de 02 de 2023). *Chromium in Drinking Water*. https://www.epa.gov/sdwa/chromium-drinking-water

Equipos y Laboratorio. (s.f.). *Conductividad electrica* . https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/conductividad-electrica

Espinoza, C. (2005). Calidad del agua y contaminación de agua subterránea. *Hidráulica de Aguas Subterráneas y Su Aprovechamiento.* Chile.

Espinoza, Y. A., & Pérez, J. S. (2011). *Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando indicadores biológicos en la subcuenca del Río La Trinidad, Diriamba Carazo, en el año hidrológico 2010-2011* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria]. https://repositorio.una.edu.ni/3227/1/tnp10p339e.pdf

EXTECH. (2005). *Manual de Instrucciones.* https://www.fondriest.com/pdf/extech_ec400_manual.pdf

EXTECH. (2016). *User Guide Turbidity Meter Model TB400*. https://www.instrumart.com/assets/Extech-TB400-Manual.pdf.

Franca, J., Solar, R., & Hughes, R. (2019). Callisto Student monitoring of the ecological quality of neotropical urban streams. *Ambio, 48*(8), 867-878. doi:10.1007/s13280-018-1122-z

Fuentes, A. F., & Villegas, G. F. (2023). *Evaluación de la comunidad de Macroinvertebrados y los grupos funcionales de alimentación como indicadores de calidad ecológica del Río Ambi* [Tesis de Grado, Universidad Ténica del Norte]. http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14465.

Fulke, A., & Kotian, A. (2020). Giripunje Marine microbial response to heavy metals: mechanism, implications and future prospect Bull. *Environ Contam. Toxicol., 105*(2), 182-197. doi:10.1007/s00128-020-02923-9

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

GAD Antonio Ante. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial* . https://www.antonioante.gob.ec/AntonioAnte/images/PDF/2020/06/v5_PDOYT_ANTONIO_ANTE_FINAL_29_de_junio_de_2020.pdf

GAD parroquia San Luis de Imbaya. (2015). *Actualizacion plan de desarrollo de ordenamiento territorial de la parroquia San Luis De Imbaya*. . https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1060021690001_ACTUALIZACION%20PD%20DE%20OT%20DE%20LA%20PARROQUIA%20SAN%20LUIS%20DE%20IMBAYA_15-05-2015_13-17-18.pdf

Galvao, L., & Corey, G. (1987). *Cromo.* Mexico: Centro Panamericano de Ecologia humana y salud .

Georgaki, M., & Charalambous, M. (2023). Toxic chromium in water and the effects on the human body: a systematic review. *J Water Health, 21*(2), 205–223. https://iwaponline.com/jwh/article/21/2/205/92712/Toxic-chromium-in-water-and-the-effects-on-the

Guevara, G., Verdesoto, A., & Castro, N. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *RECIMUNDO*, 163-173. 10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173

HACH. (2000). *Manual de Analisis de Agua.* https://www.hach.com/.

HACH. (2019). *NitraVer 5 Nitrato, reactivo Powder Pillow, 0,1-10 mg/L NO_3-N [*Archivo PDF]. https://es.hach.com/nitraver-5-nitrato-reactivo-powder-pillow-0-1-10-mg-l-no-n/product-downloads?id=24930068600

Horiba. (2021). *Manual de instrucciones.* https://static.horiba.com/fileadmin/Horiba/Water_Quality/02_Products/By_Category/01_Bench_Meters/LAQUA_2000_Series_Files_APAC/ES_-_2000_-_IM_-_PH-ION-EC-PC2000_series_manual_22022022.pdf

Illapa, R. P. (2020). *Determinación de líneas estratégicas para la conservación de la subcuenca del Río Ambi, provincia Imbabura* [Tesis de Grado, Universidad Técnica del Norte]. http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10780

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1998). *NTE INEN 2 169:98.* Quito.

Islam, M., Amir, A., Rahman, A., Rahman, M., Naidu, R., & Mahmudur, M. (2023). A Comprehensive Review of the Current Progress of Chromium Removal Methods from Aqueous Solution. *Toxics 2023, 11*(3), 252. doi: https://doi.org/10.3390/toxics11030252

Kapah, M., & Sachdeva, S. (2019). Bioremediation options for heavy metal pollution. *J. Health Pollut., 9*(24). doi:10.5696/2156-9614-9.24.191203

Keke, U., Arimoro, F., Ayanwale, A., & Odume, O. (2021). Edegbene Weak Relationships among macroinvertebrates beta diversity (β), river status, and environmental correlates in a tropical biodiversity hotspot Ecol. *Indicat., 129*(8). doi:10.1016/j.ecolind.2021.107868

Kerur, S., Bandekar, S., Hanagadakar, M., Nandi, S., Ratnamala, G., & G, P. (2021). Removal of hexavalent Chromium-Industry treated water and Wastewater: A review. *Materials Today: Proceedings, 42*(2), 1112-1121. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785320402093

La Hora. (03 de marzo de 2007). Contaminan el Ambi. *La Hora.* https://www.lahora.com.ec/noticias/26-contaminan-el-ambi/.

LaMotte. (s.f). *Cromo Hexavalente: Metodo de difenilcarbohidrazida.* https://dokumen.tips/download/link/manual-de-operacion-lamotte-espanol.html.

León Carrasco, M. G. (2014). *Diagnóstico de la calidad del agua de la microcuenca del río Congüime y diseño de una propuesta de mitigación para la zona crítica establecida mediante el índice de calidad de agua (icabrown) en la provincia de Zamora Chinchipe cantón Paquishan* [Tesis de Grado, Universidad Central del Ecuador]. http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2256

Lermanda, M. P., Urrutia, C., Novoa, V., & Rudolph, A. (2009). Efecto del EDTA sobre la toxicidad del cromo (VI) en el desarrollo larval de Petrolisthes laevigatus (Guérin, 1835). *Revista de biología marina y oceanografía, 44*(1), 137-143.https://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572009000100013.

Liu, X., Zhang, J., Shi, W., Wang, M., & Chen, K. (2020). Wang Priority pollutants in water and sediments of a river for control basing on benthic macroinvertebrate community structure Water. *Polymer Interncional , 69*(12), 1267-1274. doi:10.3390/w11061267

Marguí, E., & Torrent, L. (2023). Simple method for Cr(VI) determination by liquid-liquid microextraction combined with total reflection X-ray fluorescence spectrometry: Application to water samples and industrial extracts. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, 204*, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.sab.2023.106682

Mathu, C., Mohan, V., Sangeetha, R., Susan, G., & Ragumaran, M. (2021). A Review on the Effect of Heavy Metal Contamination and its Impact on the Environment. *International Journal of Zoological Investigations, 7*(2), 762-771. https://doi.org/10.33745/ijzi.2021.v07i02.061

Ministerio de Agricultura y Ganaderia. (s.f.). *Imbabura: buscan medidas para controlar contaminación del río Ambi.* https://www.agricultura.gob.ec/imbabura-buscan-medidas-para-controlar-contaminacion-del-rio-ambi/

Ministerio de Ambiente. (2015). *Texto unificado de legislación ambiental secundario (TULAS), Libro Vi. Anexo I correspondiente a la norma de calidad ambiental y de descargas de Efluentes recurso agua.* https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (1988). *Libro Blanco del agua de España.* Madrid. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/sintesis_tcm30-77435.pdf.

Mitra, S., Jyoti, A., Montakim, A., Bin, T., Nainu, F., & Khusro, A. (2022). Impact of heavy metals on the environment and human health: Novel therapeutic insights to counter the toxicity. *Journal of King Saud University - Science, 34*(3). https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.101865

Mohamed, A., Ismail, E., & Ali, S. (2020). Ultrasensitive catalytic assessment of chromium(VI) using digital imaging. *Microchemical Journal,157*. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0026265X20312996

Montalvo, F., Robles, V., Duque, P., & González, K. (2020). An educational rule-based expert system to determine water quality for environmental engineering and biotechnology student. *In 2020 IEEE World Conference*. doi:10.1109/EDUNINE48860.2020.9149502

Morales, V. (2022). *Remoción de cromo hexavalente en aguas residuales a partir de tratamientos electroquímicos en la empresa Tenería Núñez* [Tesis de Grado, Universidad Técnica De Ambato].https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/34284/1/t1939mquim.pdf

Muñoz, D. P., Illapa, R. P., Andino, J. R., & García, J. S. (2023). *Reporte de Salud Ambiental de la Cuenca Hidrografica del Rio Ambi*. Universidad Tecnica del Norte UTN. https://issuu.com/utnuniversity/docs/libro_salud_ambiental_digital

Murrell, J. A., Alvarez, B. R., Moya, D. L., & Badía, M. M. (2022). Aspectos fundamentales del monitoreo de calidad de las aguas: el río almendares como caso de estudio. *CENIC Ciencias Biológicas*, *53*(2), 148-159. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2221-24502022000200148.

Nguyen, H., Nguyen, H., Truong, K., Nguye, P., & Nguyen, C. (2022). A comprehensive procedure to develop water quality index: A case study to the Huong river in Thua Thien Hue province, Central Vietnam. *PLoS ONE*, *17*(9), 1-8. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0274673

NIOSH. (2019). *CDC - Guía de bolsillo de NIOSH sobre riesgos químicos, Introducción.* https://www.cdc.gov/spanish/niosh/npg-sp/pgintrod-sp.html

OSHA. (2020). *Toxic Metals—Overview | Occupational Safety and Health Administration*. https://www.osha.gov/toxic-metals

Padilla, R. (14 de septiembre de 2020). *Medición de concentración de Oxígeno en el agua.* Linkedin. https://es.linkedin.com/pulse/medici%C3%B3n-de-concentraci%C3%B3n-ox%C3%ADgeno-en-el-agua-rodolfo-padilla-

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* [Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra].https://dspace.pucesi.edu.ec/handle/11010/509

Prasad, S., Kumar, K., Kumar, S., Gupta, N., Cabral, M., Rezania, S., . . . Alam, J. (2021). Chromium contamination and effect on environmental health and its remediation: A sustainable approaches. *Journal of Environmental Management, 285*. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112174

Rubio, H. O., Delgado, R. C., Martínez, R. M., Terán, R. A., Rivero, J. M., & Burciaga, N. I. (2014). Índice de Calidad de Agua (ICA) en la presa la boquilla en Chihuahua, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, *1*(2),139-150. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282014000200005.

Servicio Nacional de Estudios Territoriales. (s.f.). *ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA GENERAL "ICA".* https://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculoICA.pdf

Téllez, J., Carvajal, M., & Gaitán, A. M. (2004). Aspectos toxicológicos relacionados con la utilización del cromo en el proceso productivo de curtiembres. *Revista de la Facultad de Medicina, 52*(1), 50–61, https://revistas.unal.edu.co/index.php/revfacmed/article/view/43297.

Tumolo, M., Ancona, V., Paola, D., Losacco, D., Campanale, C., Massarelli, C., & Uricchio, V. (2020). Chromium Pollution in European Water, Sources, Health Risk, and Remediation Strategies: An Overview. *Int J Environ Res Public Health, 17*(1), 1-11. doi: 10.3390/ijerph17155438

Uddin, G., Nash, S., & Olbert, A. (2021). A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecological Indicators, 122*. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X20311572

Vaiopoulou, E., & Gikas, P. (2020). Regulations for chromium emissions to the aquatic environment in Europe and elsewhere. *Chemosphere, 254*. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653520310699

VELP SCIENTIFICA. (s.f.). *Instruction Manual Respirometric Sensor* https://www.velp.com/public/file/RESPIROMETRICSensorENITFRESDECH-10008376-288618.PDF

Villanueva, M. C., & Esquivel, R. P. (2012). Obtenido de Impactos antropogénicos en la calidad del agua del río Cunas. Apuntes de Ciencia & Sociedad, *2*(2),130-137. http://journals.continental.edu.pe/index.php/apuntes/article/view/54/53

Wantzen, K., Alves, C., Badiane, S., Bala, R., Blettler, M., Callisto, M., . . . Zingraff-Ham., A. (2019). Urban stream and wetland restoration in the global south—a DPSIR analysis. *Sustainability , 11*(18). https://doi.org/10.3390/su11184975

YSI . (2016). *Pro20 Manual de Usuario* . https://www.ysi.com/File%20Library/Documents/Manuals/YSI_Pro20_Pro20i_User_Manual_Espanol.pdf

Zahraw, Z., Jawad, A., & Hassa, F. (2021). A brief review of water quality indices and their applications . *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science , 779*, 1-13. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/779/1/012088/pdf

Zúñiga, Ó. O., Cobas, G. G., Rivera, J. G., & Hernández, K. T. (2016). La conductividad eléctrica aumenta en proporción directa a la concentración de sólidos disueltos en el agua. En consecuencia, a medida que la concentración de sólidos disueltos aumenta, la conductividad también aumenta, y viceversa. *Ingeniería Solidaria, 12(*19),19-36, http://dx.doi.org/10.16925/in.v12i19.1191.

ANEXOS

Anexo 1. Fase de Campo



FOTOGRAFÍA 1. TOMA DE LAS COORDENADAS GEOGRÁFICAS DEL PUNTO DE MUESTREO, FECHA: 27/04/2023



FOTOGRAFÍA 2. TOMA DE LA TEMPERATURA AMBIENTE, FECHA: 27/04/2023



FOTOGRAFÍA 3. TOMA DE MUESTRA DE AGUA, FECHA: 27/05/2023



FOTOGRAFÍA 4. TOMA DE MUESTRA DE AGUA, FECHA: 27/05/2023



FOTOGRAFÍA 5. TOMA DEL OXÍGENO DISUELTO, FECHA: 27/05/2023



FOTOGRAFÍA 6. DESECHOS INORGÁNICOS PRESENTES EN EL RÍO, FECHA: 27/05/2023



FOTOGRAFÍA 7. DESECHOS INORGÁNICOS PRESENTES EN LAS RIBERAS DE RÍO, FECHA: 27/04/2023

Anexo 2. Fase de Laboratorio



FOTOGRAFÍA 8. MUESTRAS DE AGUA DE LOS CINCO PUNTOS DE MUESTREO, FECHA: 27/04/2023



FOTOGRAFÍA 9. ANÁLISIS DE PH, FECHA: 27/04/2023



FOTOGRAFÍA 10. ANÁLISIS DE DBO5, FECHA: 27/06/202)



FOTOGRAFÍA 11. ANÁLISIS DE COLIFORMES FECALES TOTALES, FECHA: 27/05/2023

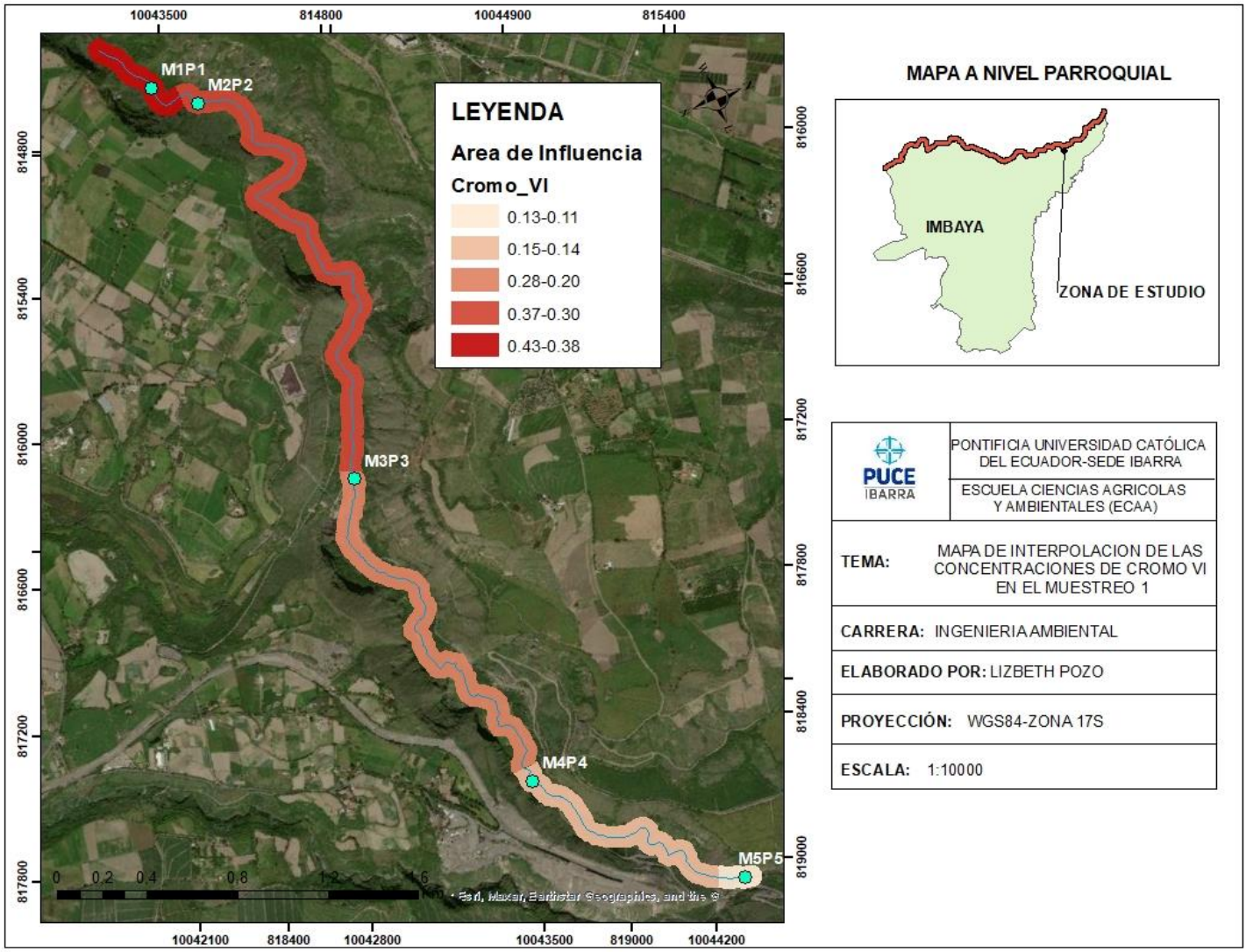


FOTOGRAFÍA 12. ANÁLISIS DE LA TURBIDEZ, FECHA: 27/04/2023

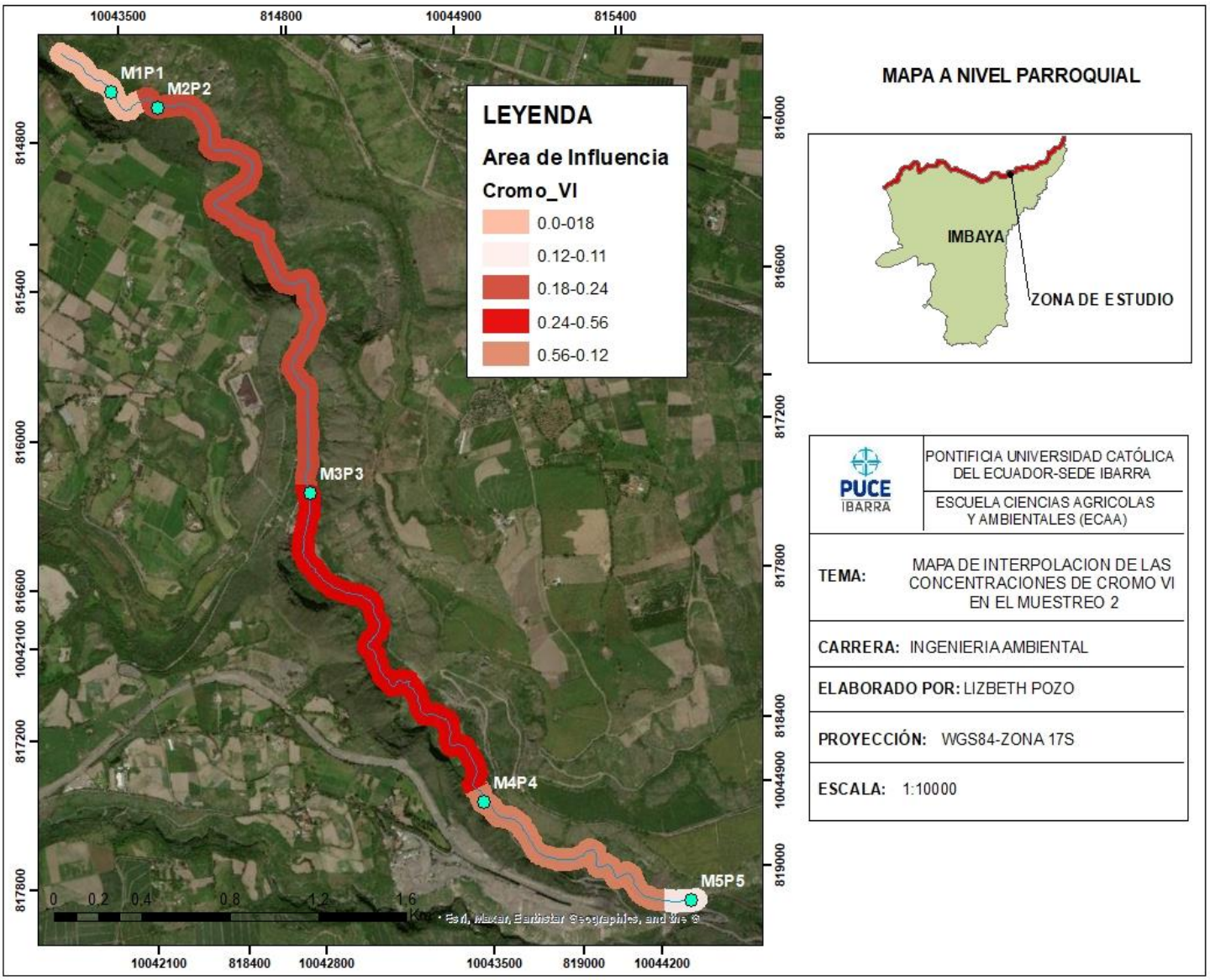


FOTOGRAFÍA 13. ANÁLISIS DE SDT, FECHA: 27/04/2023

Anexo 3. Interpolación de Cr^{+6}, primer muestreo



Anexo 4. Interpolación de Cr^{+6}, segundo muestreo



Anexo 5. Interpolación de Cr^{+6}, tercer muestreo

