



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

**Evaluación de las concentraciones de boro de los ríos Cutuchi,
Pumacunchi y Nagsiche de la provincia de Cotopaxi.**

AUTOR:

Byron Javier Cando Sangucho

TUTOR:

MSc. Marco Antonio Riofrio Guevara

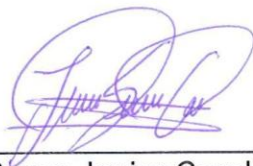
Latacunga, febrero 2025

Latacunga, 24 de febrero de 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Byron Javier Cando Sangucho declaro ser autor (a) del proyecto de titulación "Evaluación de las concentraciones de boro de los ríos Cutuchi, Pumacunchi y Nagsiche de la provincia de Cotopaxi", siendo el Ing. Mg. Marco Antonio Riofrio Guevara, tutor (a) del presente trabajo de titulación; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de titulación, son de mi exclusiva responsabilidad.



Byron Javier Cando Sangucho
CC. 1751143999

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **BYRON JAVIER CANDO SANGUCHO** identificado con cédula de ciudadanía No.175114399-9 de estado civil soltero , a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Hidráulica, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**EVALUACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE BORO DE LOS RÍOS CUTUCHI, PUMACUNCHI Y NAGSICHE DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI**”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: abril 2021 - agosto 2021

Finalización de la carrera: octubre 2024 – marzo 2025

Aprobación en Consejo Directivo: 19 de febrero

Tutor: Ing. Marco Antonio Riofrio Guevara M.Sc

Tema: “**EVALUACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE BORO DE LOS RÍOS CUTUCHI, PUMACUNCHI Y NAGSICHE DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI.**”

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

f) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.

G) La publicación del trabajo de grado.

h) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.

i) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

j) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

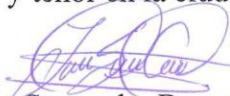
CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 21 días del mes de febrero del 2025

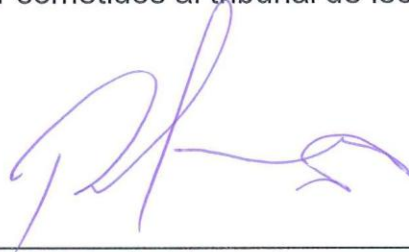

Cando Sangucho Byron Javier
EL CEDENTE

Ing. Idalia Pacheco Tigselema Ph.D.
LA CESIONARIA

Latacunga, 24 de febrero de 25

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: "Evaluación de las concentraciones de boro de los ríos Cutuchi, Pumacunchi y Nagsiche de la provincia de Cotopaxi", propuesto por el o la estudiante Byron Javier Cando Sangucho de la Carrera de Ingeniería Hidráulica, considero que dicho proyecto de titulación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos al tribunal de lectores.



Ing. Marco Antonio Riofrio Guevara, Mg.
C.C. 1600682916
TUTOR

Latacunga, 24 de febrero de 2025

AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES

Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal de Proyecto de Investigación con el Título “Evaluación de las concentraciones de boro de los ríos Cutuchi, Pumacunchi y Nagsiche de la provincia de Cotopaxi”, propuesto por el o la estudiante Byron Javier Cando Sangucho de la Carrera de Ingeniería Hidráulica, me permito indicar que el o la estudiante ha concluido todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, por lo cual presentamos el Aval de aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad de proyecto de investigación en virtud de lo cual el o la postulante puede presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines legales pertinentes.

Atentamente,

Lector 1 (Presidente)
Rudys Rafael Cusme Intriago
CC: 1313770891

Lector 2
Jimmy Xavier Toaza Iza
CC: 1717621062

Lector 3
Hernán Rafael Yáñez Ávila
CC: 0501300131

AGRADECIMIENTOS

Antes que todo agradezco a dios por la oportunidad de estudiar una carrera universitaria, agradezco a la universidad ya que en ella tuve muchas enseñanzas gracias a docentes y amigos quienes aportaron a mi aprendizaje, agradezco a mi familia quien me apoyo desde un inicio. Por otra parte, agradezco al ingeniero Marco Riofrío por la gestión y de la adquisición de datos fundamentales adquiridos a través de la prefectura de Cotopaxi para la complementación del proyecto de investigación realizado.

Byron Cando

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres, a mi madre Carla Viviana Sangucho Inga quien supo escucharme y estar presente en buenos y malos momentos dándome su apoyo, de igual manera a mi padre Gustavo Orlando Cando Moreno que me apoya demasiado y supo brindarme cada una de sus enseñanzas, gracias a los dos quienes me brindaron la educación superior, y gracias a sus enseñanzas he aprendido mucho, de igual manera a mi hermano Matias Gustavo Cando Sangucho quien estuvo conmigo un gran hermano y gran amigo, el cual es una de mis motivaciones al igual que mis abuelitos. A mis amigos quienes estuvieron ahí de igual manera trabajando en el proyecto de investigación, Alison Jacho y Bryan Carvajal este trabajo es fruto de su confianza y cariño brindado.

Byron Cando

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TEMA: EVALUACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE BORO DE LOS RÍOS CUTUCHI, PUMACUNCHI Y NAGSICHE DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI

Autor:

Cando Sangucho Byron Javier

RESUMEN

En la presente investigación se evaluó la concentración de boro en los puntos de muestreo situados en los ríos Cutuchi, Pumacunchi y Nagsiche pertenecientes a la provincia de Cotopaxi, con esto relacionar con valores establecidos en la normativa Libro VI Anexo 1 con el objetivo de determinar si los valores de muestreo exceden con los valores establecidos en la normativa. El previo estudio y recolección de las muestras se realizó con la ayuda de la Prefectura de Cotopaxi, el cual establece los valores que se van a analizar del memorando Nro. GADPC-GRYD-WC-RP-2023-0.003. El boro, aunque es un nutriente para las plantaciones, las altas concentraciones de este pueden ser tóxicos para los ecosistemas acuáticos, la agricultura y la salud humana, y con esta investigación se trata de analizar el impacto en la calidad del agua. Se recolectaron 28 muestras en el periodo del 2022-2023, para que en el 2024 se realice un seguimiento con estos valores tomando 6 puntos clave, donde se hizo la recolección de muestras realizando un análisis en el laboratorio Multianalytica S.A. para después ejecutar la evaluación y el crecimiento que hubo donde se pudo observar que en el año 2023 y 2024 aumentaron significativamente las concentraciones de boro, donde, el río Nagsiche en el punto NA15 las concentraciones alcanzaron 8.1mg/L y 5.97 mg/L en el siguiente año muy por encima de los límites permisibles para consumo humano, riego y agricultura, uso pecuario y para la preservación de la flora y fauna. En el cálculo del índice de contaminación de metales pesados (HPI) se confirmó la evaluación con la normativa donde se confirmó que la calidad del agua es crítica dando valores de $HPI > 100$ en la mayoría de los puntos indicando un alto riesgo para flora y fauna, consumo humano y riego este último afectando a la agricultura con lo cual se determinó que las posibles fuentes de contaminación las actividades agrícolas por el uso de

fertilizantes y fungicidas, descargas industriales y la geología por las zonas volcánicas enmarcadas por los volcanes Cotopaxi e Ilinizas. Este estudio aporta con estos datos a la ciudadanía de Cotopaxi para con ello la autoridad como lo es el gobierno descentralizado aporte en mecanismos como sistemas de tratamiento, monitoreos y educación ambiental que mejoren la calidad del agua para prevalecer la salud y mejorar la calidad de vida de los habitantes.

Palabras clave: Contaminación, concentraciones boro, Cotopaxi, normativas, calidad del agua, salud

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TOPIC: EVALUATION OF BORON CONCENTRATIONS IN CUTUCHI, PUMACUNCHI AND NAGSICHE RIVERS AT COTOPAXI PROVINCE.

Author:

Cando Sangucho Byron Javier

ABSTRACT

In the current investigation, the concentration of boron in the sampling points located in the Cutuchi, Pumacunchi and Nagsiche rivers which belong to the Cotopaxi province was evaluated, with the objective of determining if the sampling values exceed the values established in the regulations Book VI Annex 1. The previous study and samples collection was carried out with the help of the Prefecture of Cotopaxi, which established the values to be analyzed in memorandum No. GADPC-GRYD-WC-RP-2023-0.003. Boron, although a nutrient for plantations, high concentrations of boron can be toxic to aquatic ecosystems, agriculture, and human health, and this research seeks to analyze the impact on water quality. Twenty-eight samples were collected in the 2022-2023 period, so that in 2024 a follow-up will be carried out with these values taking 6 key points, where samples were collected and analyzed in the Multianalytica S.A. laboratory; afterwards, the evaluation was carried out and it was observed that in 2023 and 2024 the concentrations of boron increased significantly, in Nagsiche River at point NA15 the concentrations reached 8.1 mg/L and 5.97 mg/L in the following year, well above the permissible limits for human consumption, irrigation and agriculture, livestock use, and for the preservation of flora and fauna. In the calculation of the heavy metal contamination index (HPI), the evaluation confirmed that the water quality is critical, with HPI values > 100 in most of the points, indicating a high risk for flora and fauna, human consumption and irrigation, the latter affecting agriculture, with which it was determined that the possible sources of contamination are agricultural activities due to the use of fertilizers and fungicides, industrial discharges, and geology because of the volcanic zones

framed by the Cotopaxi and Ilinizas volcanoes. This study contributes with these data to the citizens of Cotopaxi so that the authority such as the decentralized government can contribute with mechanisms such as treatment systems, monitoring and environmental education to improve the quality of water to prevail the health and improve the quality of life of the inhabitants.

Key words: Contamination, boron concentrations, Cotopaxi, regulations, water quality, health.

ÍNDICE GENERAL

Contenido

3. Contenido.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. PROBLEMA.....	4
1.2. BENEFICIARIOS.....	4
1.1.1. Beneficiarios directos.....	4
1.1.2. Beneficiarios indirectos	4
1.3. JUSTIFICACIÓN	4
1.4. HIPOTESIS.....	4
1.5. OBJETIVOS	5
1.5.1. Objetivo general.....	5
1.5.2. Objetivos específicos	5
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	6
2.1. ANTECEDENTES	6
2.2. MARCO REFERENCIAL.....	7
2.2.1. Cuenca Hidrográfica	7
2.2.2. Cuenca.....	7
2.2.3. Subcuenca	7
2.2.4. Microcuenca.....	7
2.2.5. Quebradas	7
2.2.6. Cuenca alta.....	7
2.2.7. Cuenca media.....	7
2.2.8. Cuenca baja o zona de transición.....	7
2.2.9. Divisoria de agua	8

2.2.10.	Río principal.....	8
2.2.11.	Afluentes	8
2.2.12.	Efluentes	8
2.2.13.	Caracterización morfológica.....	9
2.2.14.	Tipo y uso del suelo	10
2.2.15.	Características físicas y químicas de los ríos	10
2.2.16.	Calidad del agua.....	12
2.2.17.	Metales Pesados	12
2.2.18.	El boro como contaminante	13
2.2.19.	Marco Legal	19
4.	DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	20
4.1.	METODOLOGÍA.....	20
4.2.	Área de estudio	21
4.3.	Datos	22
4.3.1.	Descripción de los ríos estudiados	23
4.3.2.	Cuenca Hidrográfica del río Cutuchi	23
4.3.3.	Cuenca Hidrográfica del río Pumacunchi	24
4.3.4.	Cuenca Hidrográfica del río Nagsiche	25
4.4.	Muestreo	26
4.5.	Toma y recolección de muestras.....	28
4.5.1.	Mediciones “in situ”	29
4.6.	Transporte y almacenamiento de las muestras.....	30
4.7.	Determinación de metales pesados en muestras de agua.....	30
4.8.	Coefficiente de correlación lineal de Pearson y coeficiente de Determinación.	31
4.9.	Calidad del agua para metales pesados mediante el método (HPI)	32

5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
5.1.	Resultados	34
5.1.1.	Para agua de consumo humano	37
5.1.2.	Para preservación de flora y fauna.....	38
5.1.3.	Para uso agrícola.....	38
5.1.4.	Para uso pecuario	39
5.1.5.	Correlación de las concentraciones de boro con los parámetros físico-químicos del agua	41
5.1.6.	Comparación de los resultados con la normativa TULSMA Anexo 1 para preservación de flora y fauna.....	44
5.1.7.	Comparación de los resultados con la normativa TULSMA Anexo 1 para uso agrícola	45
5.1.8.	Agua para riego.....	46
5.1.9.	Uso pecuario	46
5.1.10.	Agua de consumo.....	47
5.2.	Cálculo del grado de contaminación con el índice de metales pesados (HPI).....	47
5.3.	Análisis de Resultados y Discusión	49
5.3.1.	Correlación del boro con los parámetros físico-químicos del agua.....	49
5.3.2.	Comparación de los resultados de boro con las normativas vigentes para el cálculo del índice de calidad de agua para metales pesados (HPI).....	52
5.3.3.	Posibles fuentes de contaminación en cada punto de muestreo.....	56
6.	CONCLUSIONES DEL PROYECYO.....	57
6.1.	CONCLUSIÓN.....	57
6.2.	RECOMENDACIONES.....	58
7.	BIBLIOGRAFÍA	60
8.	ANEXOS	66

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Clasificación de las cuencas hidrográficas.....	8
Tabla 2	Nivel de concentración de boro dependiendo de su lugar de origen.....	15
Tabla 3	Tipo de fuente según la región de origen	16
Tabla 4	Coordenadas UTM de los puntos de muestreo tomadas por la Prefectura de Cotopaxi	27
Tabla 5	Coordenadas UTM de los puntos de muestreo de los ríos más importantes de Cotopaxi	28
Tabla 6	Datos tomados de los parámetros físico-químicos del agua	29
Tabla 7	Almacenamiento de las muestras para preservación hasta llegada al laboratorio..	30
Tabla 8	Tipo de correlación dependiendo el resultado asociado a la fuerza de asociación.	32
Tabla 9	Clasificación de la calidad del agua con el cálculo de HPI.....	32
Tabla 10	Resultados de las concentraciones de Boro de los años 2022 y 2023 dados por la Prefectura de Cotopaxi.....	34
Tabla 11	Muestras que en el año 2023 tuvieron un aumento significativo de la concentración de boro en los ríos	36
Tabla 12	Correlación de los resultados del 2023 con las normativas ecuatorianas e internacionales vigentes para consumo humano.....	37
Tabla 13	Correlación de los resultados del año 2023 con la normativa para preservación de flora y fauna en agua dulce	38
Tabla 14	Correlación de los resultados del 2023 con normativas vigentes para uso agrícola	39
Tabla 15	Correlación de los resultados del 2023 con normativas vigentes para uso pecuario	39
Tabla 16	Resultados de las pruebas de laboratorio Multianálityca S.A. de la ciudad de Quito, realizadas en el 2024.....	40
Tabla 17	Correlación de la concentración de boro con los parámetros físico-químicos del agua	41
Tabla 18	Correlación de pH vs Concentración de boro	42
Tabla 19	Resultado del coeficiente de Pearson para pH-Concentración de boro	42
Tabla 20	Correlación de Temperatura vs Concentración de boro	43

Tabla 21	Resultado del coeficiente de Pearson para Temperatura-Concentración de boro	43
Tabla 22	Correlación de Conductividad vs Concentración de boro.....	44
Tabla 23	Resultado del coeficiente de Pearson para Conductividad-Concentración de boro	44
Tabla 24	Correlación de los resultados del 2024 con normas vigentes para flora y fauna	.44
Tabla 25	Correlación de los resultados del 2024 con normas vigentes para uso agrícola	..45
Tabla 26	Correlación de los resultados obtenidos con los valores permisibles para agua de riego	46
Tabla 27	Correlación de los resultados del 2024 con normas vigentes para uso pecuario	.46
Tabla 28	Correlación de los resultados del 2024 con normas vigentes para Consumo	47
Tabla 29	HPI calculado en los diferentes criterios de calidad del agua establecidos en la norma TULSMA	48
Tabla 30	Posibles fuentes de Contaminación en los distintos puntos de muestreo.....	56

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de flujo de actividades realizadas a lo largo de la investigación Elaborado por: Autor.....	21
Figura 2: Área de estudio ubicada en la provincia de Cotopaxi Elaborado por: Autor	22
Figura 3: Geología de la provincia Cotopaxi Elaborado por: Autor.....	23
Figura 4: Delimitación de la subcuenca del río Cutuchi con sus puntos de muestreo Elaborado por: Autor.....	24
Figura 5: Delimitación de la microcuenca del río Pumacunchi con su punto de muestreo Elaborado por: Autor.....	25
Figura 6: Delimitación de la microcuenca Nagsiche con sus puntos de muestreo Elaborado por: Autor.....	26
Figura 7: Coeficiente de Pearson y su intensidad Fuente: [44].....	31
Figura 8: Comparación de los resultados en los años 2022-2024 Elaborado por: Autor..	41
Figura 9: Relación lineal positiva entre pH-Concentraciones de boro Elaborado por: Autor.....	50
Figura 10: Relación lineal negativa débil entre Temperatura-Concentraciones de boro Elaborado por: Autor.....	51
Figura 11: Relación lineal negativa débil entre Temperatura-Concentraciones de boro Elaborado por: Autor.....	52
Figura 12: Punto CU06 sin presencia de vida acuática	52
Figura 13: Punto de muestreo PU10 sin presencia acuática.....	53
Figura 14: Presencia agrícola en el sector San Rafael recuperado de GOOGLE EARTH..	54
Figura 15: Presencia agrícola en el sector Cusubamba recuperado de GOOGLE EARTH	54
Figura 16: Presencia agrícola en el sector Cusubamba cerca de la hostería “Puñana hurku wasi” recuperado de GOOGLE EARTH	55

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Caminata al punto CU06 cerca de los Ilinizas.....	66
Anexo 2: Primer punto de muestreo en las faldas de los Ilinizas.....	67
Anexo 3: Toma de muestras en el punto CU06.....	67
Anexo 4: Toma de muestras en el Punto de muestreo CU04.....	67
Anexo 5: Llegada al punto de muestreo PU10.....	68
Anexo 6: Toma de muestras del punto PU10.....	68
Anexo 7: Presencia de basura causante de altas concentraciones de Boro.....	68
Anexo 8: Presencia de ganado en el punto PU10 que puede tener problemas de salud al ingerir agua contaminada de Boro.....	69
Anexo 9: Toma de muestras en el punto CU05.....	69
Anexo 10: Filtrado de agua para no tener presencia de sólidos suspendidos o sedimentos en el agua para algún cambio en los resultados.....	69
Anexo 11: Proceso de Filtrado en las muestras NA15 y Na16.....	70
Anexo 12: Equipo de trabajo para a toma de muestras.....	70
Anexo 13: Resultados de laboratorio del punto de muestreo CU04.....	71
Anexo 14: Resultados de laboratorio del punto de muestreo CU05.....	72
Anexo 15: Resultados de laboratorio del punto de muestreo CU06.....	73
Anexo 16: Resultados de laboratorio del punto de muestreo PU10.....	74
Anexo 17: Resultados de laboratorio del punto de muestreo NA15.....	75
Anexo 18: Resultados de laboratorio del punto de muestreo NA16.....	76
Anexo 19: Posible fuente de contaminación en el rio Pumacunchi.....	77
Anexo 20: Posible fuente de contaminación en el rio Pumacunchi.....	77
Anexo 21: Posibles fuentes de contaminación en el rio Cutuchi.....	78
Anexo 22: Toma de muestras para el análisis de los parámetros físico-químicos del agua.....	78
Anexo 23: Análisis de los parámetros físico-químicos del agua.....	79

INFORMACION GENERAL

Título del proyecto:

Evaluación de las concentraciones de boro de los ríos Cutuchi, Pumacunchi y Nagsiche de la provincia de Cotopaxi.

Línea de investigación:

Meteorología, hidrología, mecánica de fluidos, sistema y obras hidráulicas

Sublíneas de investigación de la Carrera:

Gestión y manejo sostenible y/o sustentable del recurso hídrico.

Lugar de ejecución

Provincia de Cotopaxi

Facultad que auspicia:

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera que auspicia:

Ingeniería Hidráulica

Grupo de investigación

Byron Javier Cando Sangucho y M.sc. Marco Antonio Riofrio Guevara

Tutor:

M.sc. Marco Antonio Riofrio Guevara

Investigador:

Cando Sangucho Byron Javier

1. INTRODUCCIÓN

Una de las problemáticas ambientales a nivel mundial es la contaminación de los ríos, estas afectan a la calidad del agua, daño a ecosistemas y causan afecciones a la salud humana. La humanidad utiliza principalmente tres partes del ciclo hidrológico para sus necesidades hídricas: ríos, lagos y aguas subterráneas. Varios ríos importantes han experimentado cambios en sus patrones de caudal y han sido contaminados, lo que ha tenido efectos perjudiciales en los ecosistemas de ríos, estuarios y océanos[1].

La provincia de Cotopaxi situada en la zona central del Ecuador, alberga con una red hidrográfica vital para el desarrollo económico y ambiental de la región, puesto que, las actividades agrícolas, industriales, uso humano y pecuario dependen de los sistemas fluviales tales como los ríos Cutuchi, Pumacunchi, Yanayacu, Nagsiche entre otros ríos fundamentales en cada actividad mencionada. Los sistemas hídricos se ven afectados por una amplia gama de contaminantes, afectando así la calidad de agua de los cauces con distintos compuestos como: orgánicos volátiles, biodegradables, materiales resistentes a la degradación (recalcitrantes), diversos metales tóxicos o nutrientes que afectan el desarrollo vegetal, a esto sumándole los sólidos suspendidos y microorganismos patógenos y parásitos[2].

La principal cuenca hidrográfica de la provincia es el río Cutuchi, este nace de la unión de dos ríos nacientes del volcán Cotopaxi como lo son los ríos Manzana-huayco y Rumiñahui[3]. El río Cutuchi tiene una oferta hídrica que genera 1000 MMC por año, esta cuenca pasa por distintas ciudades de Cotopaxi hasta llegar al río Ambato, llegando a abastecer 24.000 Has de cultivo para riego y para agua potable un 3% que provee el río para la población. Además, existen otras cuencas hidrográficas importantes como lo son el Pumacunchi, Nagsiche, Yanayacu, Chalupas, Illuchi, Patoa y Quindigua, ríos de los cuales el caudal del Illuchi y Nagsiche son usados en su totalidad para riego[4].

Según el MAE la mayor fuente que contamina la cuenca es el sistema de descarga de alcantarillado sanitario en la ciudad de Latacunga, este representa al 80% de contaminación, mientras que las descargas del sector industrial generan lo restante que es el 20%[5]. La falta de proyección para un crecimiento poblacional en áreas urbanas y rurales, además del antiguo sistema de alcantarillado existente se realizan descargas directas de aguas residuales sin tratamiento, de igual manera ciertas industrias y agroindustrias depositan sus aguas servidas

sin tratar perturbando así a las unidades hidrográficas de Cotopaxi[6]. Además de la contaminación industrial y sanitaria que existe en la cuenca, también por erosión del suelo, el río se contamina con metales pesados, ya que, los suelos tienen carácter volcánico [6].

El boro es esencial para el desarrollo de plantaciones, ya que, uno de sus derivados como lo es el ácido bórico es absorbido por la planta para su desarrollo pese a esto los altos contenidos pueden ser perjudiciales sea para los suelos o los sistemas acuáticos, la contaminación por boro puede ser natural por geogenética como puede ser minerales borosilicatados, actividad volcánica y aguas geotérmicas subterráneas, por otro lado, las actividades antropogénica se pueden generar por la liberación de boro en aguas residuales, irrigación, fertilizantes y residuos industriales como fertilizantes, herbicidas y material para protección nuclear[7]. El boro es un elemento que se distribuye en minerales que se encuentran en los suelos y rocas, este puede encontrarse en el agua al exponerse el suelo o rocas volcánicas de los volcanes Cotopaxi e Ilinizas también lahares por la actividad volcánica del Cotopaxi[8], el suelo de la provincia de Cotopaxi al ser muy fértil y apto para la agricultura puede contener este elemento, también se puede encontrar por el uso de compuestos de boro en industrias, uso doméstico y agroindustrias ubicadas en la provincia.

La presente investigación tiene como objetivo la identificación del metal Boro en los ríos Cutuchi, Pumacunchi y Nagsiche de la provincia de Cotopaxi realizando un análisis de la concentración de Boro en diferentes puntos de muestreo en el 2024, gracias al trabajo realizado conjuntamente con la Prefectura en distintos proyectos educativos, se ha podido relacionar los resultados con los valores del análisis de los años 2022-2023 otorgados por la Prefectura de Cotopaxi del memorando Nro. GADPC-GRYD-WC-RP-2023-0.003[9]. Este análisis se toma acabo con los valores establecidos en la normativa nacional Libro VI TULSMA Anexo 1, pues es la que determinan si el agua está en óptimas condiciones, ya sea para consumo, agricultura y diferentes usos que genera el recurso hídrico en el país[10]. Realizando un análisis de las concentraciones de boro con los parámetros físico-químicos de agua, para luego determinar la calidad del agua mediante el índice de contaminación de metales pesados (HPI) y determinar cuáles son las posibles fuentes de contaminación que existen en la provincia de Cotopaxi.

1.1.PROBLEMA

La provincia de Cotopaxi presenta características geológicas y actividades agrícolas (como es el uso de fertilizantes, pesticidas) que pueden tener influencia en la afectación por la dispersión de boro en las fuentes de agua. La provincia cuenta con importantes cuencas hidrográficas que sirven como abastecimiento en zonas rurales y urbanas, donde la Prefectura de Cotopaxi ha identificado una potencial acumulación de boro en estas fuentes hídricas de la provincia, lo que podría representar un riesgo para la salud humana y los ecosistemas.

1.2.BENEFICIARIOS

1.1.1. Beneficiarios directos

Población de la provincia de Cotopaxi y estudiantes de la UTC los cuales deben tener esta información necesaria para próximas investigaciones y para que la población este informada sobre las afectaciones que se puede tener a causa de la contaminación de los ríos por Boro.

1.1.2. Beneficiarios indirectos

Entidades gubernamentales y descentralizadas de la provincia de Cotopaxi para posibles proyectos futuros teniendo en cuenta datos informativos.

1.3.JUSTIFICACIÓN

Es importante llevar a cabo la investigación propuesta basándose en investigaciones previas nacionales como internacionales que enfatizan el rango de los metales pesados que exceden los límites permisibles en muestras de agua permitiendo así identificar los riesgos sanitarios que se asocian a la presencia del boro y plantear una propuesta que contribuya al conocimiento sobre la calidad del agua en la región y que esto contribuya a las entidades encargadas para orientar políticas públicas de gestión y de tratamiento hídrico para con esto proteger la salud de la población y la toma de conciencia para mitigar la problemática en los ecosistemas.

1.4.HIPOTESIS

La concentración de boro en las fuentes hídricas de uso agrícola y consumo humano de la provincia de Cotopaxi superan los límites permisibles establecidos por la normativa del Libro VI TULSMA Anexo 1 por la presencia de boro relacionada a la combinación de factores geológicos, la actividad volcánica de los volcanes Cotopaxi e Ilinizas y actividades antropogénicas como la agricultura e industrias en la región.

1.5.OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

Evaluar la concentración de boro en ríos de la provincia de Cotopaxi comprobando su impacto en la calidad del agua y ecosistemas en el periodo 2022 - 2024

1.5.2. Objetivos específicos

- Analizar el comportamiento de las concentraciones de boro en los ríos Cutuchi, Pumacunchi y Nagsiche de los años de estudio correlacionando los parámetros fisicoquímicos del agua
- Determinar la calidad del agua mediante el cálculo del índice HPI, comparando los resultados obtenidos con las normativas vigentes determinando el nivel de riesgo asociado a la contaminación.
- Identificar las posibles fuentes naturales y antropogénicas que contribuyen a la presencia de boro en los sistemas hídricos estudiados.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.ANTECEDENTES

En el año del 2014 se ejecutaron monitoreos en el río Cutuchi los cuales fueron realizados por la Dirección Provincial de Ambiente de Cotopaxi y el laboratorio CESTTA donde se evidencio que la calidad del agua estaba afectada por distintos parámetros uno de ellos el boro teniendo un incremento. De igual manera SENAGUA en el mismo año encontró en muestras realizadas en el río Cutuchi que el boro sobrepasaba los límites permisibles establecidos por la TULSMA[11].

La existencia de zonas industrial, agroindustria y pecuario en sectores de la provincia de Cotopaxi son los principales actividades para el crecimiento económico sectorial, sea esta con la siembra de maíz, cereales, hortalizas en especial el brócoli o como en Tanicuchi la producción industrial conformada por empresas como: Aceropaxi, Indulac, La Avelina, Lacteos Tanicuchi, Sancela, Texiles Rio Blanco, Floricolas y Aglomerados Cotopaxi, de igual manera con las actividades pecuarias, los cuales generan el comercio en la provincia y con ello, activando la economía para los pobladores. Zonas que utilizan los sistemas hídricos de Cotopaxi para estas distintas actividades[12].

Investigaciones realizadas en la subcuenca del río Calchaquí en Argentina precisamente en la provincia de Salta plantea que si no se realizan planificaciones para el uso de suelos regados por ríos con excesos de B van a aumentar los efectos de contaminación hacia los cultivos[13]. El origen de B en el río Duero en México determina que puede ser múltiple ya sea de origen volcánico, por vertidos de aguas residuales que contienen boratos y perboratos (detergentes)[14].

La presencia del boro en el planeta se puede dar de diferentes formas al ser un componente natural y presente en diferentes compuestos utilizados en las industrias ya sea para la fabricación de vidrios, producción de detergentes, jabones y productos fertilizantes. El boro se puede adsorber por vías respiratorias o también por la ingesta por vía gastrointestinal teniendo una afección en testículos según estudios realizados en rata al consumir niveles altos de boro [15].

2.2.MARCO REFERENCIAL

2.2.1. Cuenca Hidrográfica

La cuenca hidrográfica es una unidad de gestión donde se incluyen ecosistemas terrestres como lo son las selvas, bosques, matorrales, pastizales, manglares y otros) y ecosistemas acuáticos tales como ríos, lagos, humedales, etc.), los parte aguas son los limitantes determinados desde donde se escurre el agua que precipita en el territorio delimitado. Se divide por lo general en tres sectores principales como lo son: zona alta o también conocida como la zona de captación, la zona de tránsito la cual es la zona media por donde circula el agua y al final la zona baja también conocida como zona de deposición[16].

2.2.2. Cuenca

Es un sistema que conlleva la integración de varias subcuencas y microcuencas[16].

2.2.3. Subcuenca

Es el conjunto de microcuencas que drenan a un solo cauce con caudal fluctuante pero permanente[16].

2.2.4. Microcuenca

Es el área que se va a drenar a un cauce principal, es un ramal o varios ramales que se unen a una subcuenca[16].

2.2.5. Quebradas

Es el área de drenaje que va a la corriente principal de una microcuenca[16].

2.2.6. Cuenca alta

Es el área superior de la cuenca en donde se encuentran las zonas montañosas o cabeceras de los cerros limitadas por las divisorias de aguas[16].

2.2.7. Cuenca media

Zona donde se juntan las aguas recogidas de la parte superior y donde el río principal mantiene un cauce definido[16].

2.2.8. Cuenca baja o zona de transición

Zona de desembocadura a ríos mayores o a estuarios y humedales[16].

2.2.9. Divisoria de agua

Línea imaginaria que delimita la cuenca hidrográfica, marcando el límite de la cuenca con cuencas vecinas. Se denomina los “parteaguas” ya que dividen por la desembocadura a ríos distintos[16].

2.2.10. Río principal

Se define como la trayectoria del cauce con mayor caudal de agua o también se denota por la longitud que el río tenga. La mayoría de cuencas de drenaje tienen su río principal bien definido que se define desde la desembocadura hasta cerca de la divisoria de agua[16].

2.2.11. Afluentes

También llamado tributario y corresponde al curso de agua que desemboca en otro río, confluencia es el lugar donde el afluente se une con un río principal[16].

2.2.12. Efluentes

Llamado tributario y es una derivación que se desglosa afuera de la corriente principal de un río grande a un más pequeño. Existen efluentes de origen artificial que derivan de una acequia o canal utilizados para el riego o racionamientos de agua que se encuentran lejos de una corriente principal[16].

2.2.12.1. Tipos de cuencas

- Por su tamaño geográfico
- Por su ecosistema
- Por su objetivo
- Por su relieve
- Por la dirección de la evaluación de las aguas

2.2.12.2. Clasificación de las cuencas hidrográficas

Tabla 1

Clasificación de las cuencas hidrográficas

Tamaño de la cuenca en (km ²)	Descripción	Tipo
< 25	Muy pequeña	Microcuenca
25 – 250	Pequeña	

250 – 500	Intermedia – pequeña	Subcuenca
500 – 2500	Intermedia – grande	
2500 – 5000	Grande	Cuenca
> 5000	Muy Grande	Sistema Hidrográfico

Fuente: [16]

2.2.13. Caracterización morfológica

Estudia la distribución y estructuración desarrollada en los ecosistemas fluviales, como consecuencia teniendo tipologías típicas de cauce:

2.2.13.1. Cauce trenzado

Se caracteriza por ser muy ancha conformada por cauces diminutos entretejidos siendo un cauce muy inestable provocando el yacimiento de pequeñas y temporales islas[17].

2.2.13.2. Cauce sinuoso o con meandros

En este cauce se presentan ondulaciones producidas por la erosión del suelo cambiando mínimamente la dirección del flujo, esta se origina por la diferencia de velocidades en la sección transversal[17].

2.2.13.3. Área de drenaje

Superficie terrestre que alimenta a su río principal y sus afluentes en proyección horizontal incluyendo la divisoria topográfica[18].

2.2.13.4. Forma

Caracterización en la forma de la cuenca en un tiempo necesario empezando con las precipitaciones para la contribución a la salida del cauce[18].

2.2.13.5. Pendiente de drenaje

Interviene con la velocidad dando lugar a la escorrentía superficial, sirve para la construcción de la red de drenajes dependiendo del tiempo que las precipitaciones se concentren en los lechos fluviales[18].

2.2.14. Tipo y uso del suelo

Debido a la infiltración y percolación de agua se determina el tipo de suelo de la cuenca, esto influyendo a la calidad y cantidad de aguas subterráneas de una cuenca, influyendo también al ciclo hidrológico. Dependiendo la vegetación que exista en el lugar se realizaran los procesos de infiltración[17].

2.2.14.1. Erosión

Separación de materia superficial debido a la fricción en el caso del agua. La remoción o excavaciones de suelos suelen traer problemas ambientales tales son el cambio de curso del agua o las laderas añadiendo sedimentos a las corrientes alterando el ecosistema[18].

2.2.14.2. Lixiviación

Proceso por el cual los metales se disuelven generalmente el agente lixivante es una solución acuosa. El agua de lluvia se percola a través de yacimientos produciendo un lixivante que dependiendo de la composición de esta sea del contenido de ácido, cantidad de hierro, niveles de cobre, lo que puede variar dependiendo de la estación del año y la diferencia de las zonas donde se produce el yacimiento[19].

2.2.15. Características físicas y químicas de los ríos

2.2.15.1. Características físicas

2.2.15.1.1. Color

El color del agua resulta de la combinación de varios elementos como lo son los materiales vegetales (ácidos húmicos, turba, plantón) y metales pesados (hierro, manganeso, cobre, cromo, etc.). Los problemas ecológicos pueden resultar significativos, puesto que, se reduce la transparencia del agua, se crea una barrera a la luz solar, se disminuye la fotosíntesis del fitoplancton y limita el crecimiento de plantas acuáticas[20].

2.2.15.1.2. Turbidez

Esta mide la dispersión de luz causada por materia suspendida coloidal o particulada. Puede indicar la contaminación microbiológica o presencia inorgánica. Al no existir penetración de luz afecta de manera grave a los ecosistemas acuáticos y con esto reduciendo la fotosíntesis, además interfiriendo en los sistemas de tratamiento de desinfección[20].

2.2.15.1.3. Sólidos suspendidos

Sustancias que no decantan naturalmente y que como su nombre lo dice están suspendidas en el agua. Los sólidos suspendidos son un factor para el desarrollo de la turbidez y el color del agua[20].

2.2.15.1.4. Sólidos disueltos

Los sólidos disueltos son determinantes en la salinidad del río y en consecuencia la conductividad. El TDS es la medida de los sólidos totales disueltos el cual indica el índice de cantidades de sustancias disueltas están presentes en el agua donde los principales aniones son: carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos. Y los cationes que se usan son: calcio, magnesio sodio, potasio, amoníaco, etc[20].

2.2.15.1.5. Temperatura

La temperatura se ve afectada causando efectos en la solubilidad del oxígeno y cambiando las velocidades de reacciones químicas y bioquímicas. Al presentarse altas temperaturas influye en la aceleración de la putrefacción aumentando así la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y disminuye el oxígeno disuelto[20].

2.2.15.1.6. Conductividad

Mide la capacidad que tiene el agua para transporta la corriente eléctrica, enseñando las concentraciones de especies iónicas, esta se relaciona con el residuo fijo mediante una constante que varía entre 0.55 y 0.9[20].

2.2.15.2. Parámetros químicos

2.2.15.2.1. pH

Es una propiedad importante la cual afecta a muchas reacciones químicas y biológicas en este caso del agua, si el valor de pH es extremo puede originarse la muerte de especies acuáticos y alterar drásticamente la flora y fauna del cauce. La vida acuática se presenta en rangos de pH entre 5 y 9, aunque generalmente la formación de vida oscila entre 6 y 7.2 ya que fuera del rango expuesto las proteínas se desnaturalizan, imposibilitando la vida. La alcalinidad del agua aumenta con diferentes componentes como bases fuertes y sales de bases fuertes con ácidos débiles) y la acidez del agua se reduce con el dióxido de carbono, ácidos minerales y ácidos poco disociados[20].

2.2.15.2.2. Oxígeno disuelto

Principal indicador para evaluación de contaminación del agua. Se disminuye a partir de causas como la presencia de materia orgánica que requiere oxígeno para procesos de la descomposición microbiana y la existencia de material inorgánico parcialmente oxidado que consume oxígeno para la complementación de su oxidación. La concentración de oxígeno disuelto alcanza el equilibrio con factores físicos como la presión atmosférica y temperatura en aguas no contaminadas[21].

2.2.16. Calidad del agua

Al hablar de calidad del agua se asimila el buen uso del recurso hídrico, ya que, este satisface las necesidades básicas de salud, condiciones de vida para el humano y los ecosistemas terrestres. Pese a esto, existe deficiencia en la calidad de las prestaciones de los servicios del líquido vital, ya sea, por falta de organización, inexistencia de una previa planificación y la insuficiencia en la inversión que pueda garantizar a mediano y largo plazo sostenibilidad de las coberturas de los servicios de agua y saneamiento a nivel mundial. Se entiende como calidad del agua a la relación química, física y biológica del agua con respecto a la naturaleza, siendo esta afectada por sustancias producidas por actividades antropológicas como procesos naturales[22].

En los ríos la calidad del agua dependerá de las características de la cuenca hidrográfica ya sea por los suelos y geología zonal, de igual manera, dependerá de la actividad antropogénica siendo las actividades humanas, agrícolas e industriales las que generan polución en los ríos[23].

2.2.17. Metales Pesados

Los metales pesados se constituyen por elementos de transición y post-transición donde se incluyen metaloides como el arsénico y selenio. Los metales pesados tienen su división biológica entre dos grupos como lo son: Oligoelementos quienes son importantes para el ciclo vital de plantas y animales en pequeñas cantidades (Arsénico, Boro, Cobre, Cromo, Molibdeno, Manganeso, Níquel, Selenio y Zinc); por otra parte los metales pesados sin función biológica conocida y resultan altamente tóxicos con propiedades de acumulación en los seres vivos se encuentran en su forma natural en la corteza terrestre (Cadmio, Mercurio,

Plomo, Niquel, Antimonio, Bismuto)[24]. La contaminación de metales pesados puede derivar en diversas consecuencias en la salud y al ambiente ya que la toxicidad es alta.

2.2.18. El boro como contaminante

La contaminación del boro se da de manera natural, de manera industrias y de manera agrícola, esto por la presencia en componentes volcánicos tales son rocas como pegmatitas y granitos donde aparecen minerales como la turmalina y la biotita, y distintos gases volcánicos que pueden ser liberados como lo es el ácido bórico o algunas concentraciones de boratos provocados por el contacto de sedimentos con halogenuros (natural), químicos como el bórax o el ácido bórico utilizados en cerámicas, engranajes, condensadores de electrolitos y fertilizantes, estos últimos en composiciones como estiércol o fertilizantes borados[25].

2.2.18.1. Boro

Es un metal expuesto en la tabla periódica de los elementos químicos, existente por erupciones volcánicas presentándose en la naturaleza en minerales. Descubierta por Sir Humphrey Davy en 1808 y reconocido como nuevo elemento en 1824 por Jöns Jacob Berzelius. Al combinarse con el oxígeno y otros elementos forma compuestos boratos y también se relaciona el boro con los minerales kernita ($Na_2B_4O_7 \cdot 4H_2O$) y el bórax ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$)[26].

2.2.18.2. Propiedades físicas del boro

Se caracteriza por ser un material polimórfico, esto quiere decir que se puede presentar en diversas formas como: fibras, polvo, agujas o incluso como piedras preciosas con diferentes estructuras cristalinas, tales como gemas rojizas claras con estructura alfa romboidal, gemas oscuras con estructura beta romboidal, y otras variaciones que incluyen gemas oscuras con brillo metálico y estructura tetragonal alfa, además de presentarse como un polvo nebuloso de tonalidades terrosas[26].

Las propiedades físicas más notables del boro son:

- Densidad relativamente baja que oscila entre 2.31 y 2.46, dependiendo de su forma específica.
- Dureza excepcional que supera incluso la del rubí.

- Resistencia térmica teniendo un punto de fusión de 2300°C en su forma cristalina anhidra y un punto de ebullición que alcanza los 4000°C.
- Solubilidad resistente a solventes comunes como agua, alcohol y éter, aunque puede disolverse en ácidos fuertes como el nítrico y el sulfúrico cuando están concentrados.
- Conductividad eléctrica muy baja, aproximadamente 0.0001 S/m, lo que le hace tener propiedades aislantes muy elevadas.
- Resistencia a la tensión cuando se encuentra en forma de filamentos.

2.2.18.3. Propiedades químicas del boro

El boro es un elemento químico con características particulares en su estructura electrónica, presentando tres electrones de valencia (dos electrones s y un electrón p)[26].

Las propiedades químicas fundamentales son:

- Estado de oxidación constante de +3
- No forma aniones simples
- Sus formas minerales principales se encuentran como óxidos e hidróxidos

El comportamiento químico del boro forma compuestos con hidrogeno llamados boranos siendo el diborano (B_2H_6) el más simple, no muestra actividad con el amoniaco, es inactivo ante el agua y el ácido clorhídrico, pero si reacciona con el oxígeno formando ácido bórico y nitruro de boro[26].

2.2.18.4. Toxicidad del boro

El boro puro no presenta toxicidad, aunque sus derivados como el ácido bórico y los boranos pueden ser corrosivos. El borano es un gas incoloro utilizado en la obtención de boro puro[26].

2.2.18.5. Comparación periódica

A pesar de compartir el número de oxidación +3 con el aluminio y estar en la misma familia en la tabla periódica, sus propiedades químicas se asemejan más a las del carbono y el silicio[26].

2.2.18.6. Limitaciones en su caracterización

La determinación precisa de sus propiedades se ve afectada por varios factores, estos son: confiabilidad en las fuentes de obtención, variaciones en la temperatura durante su procesamiento y la falta de pureza en las muestras[26].

2.2.18.7. Fuentes de exposición al boro

El boro se presenta en múltiples fuentes sean estos: alimentos, agua, suelo, aire y productos comerciales, donde se pueden presentarse con distintos valores estos pueden variar dependiendo la fuente[26]

- Alimentos (especialmente cultivos). - Consumo promedio de 1mg/día en adultos.
- Agua. - Desde 0.1 mg/L en aguas superficiales hasta 300 mg/L en aguas subterráneas
- Suelo. - Concentraciones entre 26-33 mg/kg
- Aire. - Principalmente en entornos laborales (0.5-3 mg/boro/m³)
- Productos comerciales. - Detergentes, pesticidas, cosméticos y fertilizantes

2.2.18.8. Geogenética

El boro se distribuye por toda la corteza terrestre donde se concentra especialmente en sedimentos marinos arcillosos y su concentración varía significativamente según el tipo de roca teniendo un rango de 1-500 mg B/kg y un promedio de 10 mg B/kg. La Presencia en suelos tiene un rango general de 2-100 mg B/kg y una concentración promedio de 30 mg B/kg dependiendo principalmente del material margoso original[27].

Existe también la clasificación de suelos según contenido, el suelo tiene bajo contenido si es <10 mg B/kg (mayoría) y si el suelo tiene abundante boro su rango va de 10-100 mg B/kg (asociados a actividad volcánica). La distribución global estimada en diferentes reservorios terrestres se encuentra explicada en la **Tabla 2**.

Tabla 2

Nivel de concentración de boro dependiendo de su lugar de origen

El rango de existencia del Boro	Nivel de concentración de Boro
Cortezas continentales y oceánicas	10 ¹⁸ kilogramos
Yacimientos comerciales de borato	10 ¹⁰ kilos

Yacimientos de carbón	10 ¹⁰ kilos
Biomasa	10 ¹⁰ kilos
Océanos	10 ¹⁵ kilos
Agua subterránea	10 ¹¹ kilos
Aguas superficiales	10,8 kilos
Hielo	10 ¹¹ kilos

Fuente: [27]

La distribución de boro también se encuentra en aguas como océanos y otros sistemas acuáticos. En el océano el boro es uno de los elementos más abundantes estando en 10ma posición, esto puede depender de la ubicación pues en el Mar Báltico la concentración es de 0.52 mg B/L siendo la concentración más baja y el Mar Mediterráneo con una concentración de 9.57 mg B/L siendo esta la concentración más grande. El promedio global oceánico de concentración esta entre 4.6 y 4.8 mg B/L. En los sistemas acuáticos como lo son las aguas subterráneas, aguas superficiales y masas de hielo también existe diferentes concentraciones de boro donde la concentración de boro en aguas subterráneas está entre 0.017 y 1.9 mg B/L y diferentes fuentes que se explican en la **Tabla 3**[27].

Tabla 3

Tipo de fuente según la región de origen

Tipo de fuente	Región de origen	Estimación	Referencia
Actividad hidrotermal	Agua de mar en la corteza oceánica	0,08 (mg/L)	(<u>Park y Schlesinger, 2002</u>)
Meteorización química	Arenisca roja y otras rocas madre del suelo	0,026 (mg/kg)	(<u>Klee y Graedel, 2004</u>)
Meteorización física	Arenisca roja y otras rocas madre del suelo	0,015 (mg/kg)	(<u>Park y Schlesinger, 2002</u>)
Tierra de mina	Minería de boro	1,36 (mg/kg)	(<u>Klee y Graedel, 2004</u>)
Fuentes hidrotermales de alta temperatura	Volcán submarino	0,004–0,042 (mg/L)	(<u>Usted y otros, 1995</u>)

Lluvias	Asia meridional	0,0003–0,009 (mg/L)	(<u>Rose y otros,</u> <u>2000</u>)
Ríos	Gran Bretaña	0,015–0,096 (mg/L)	(<u>Neal y Robson,</u> <u>2000</u>)
Los ríos Rin y Mosa	Países Bajos	0,04–0,20 (mg/L)	(<u>Wyness y otros,</u> <u>2003</u>)
Ríos, arroyos, prístinos	Porcelana	0,002–0,51 (mg/L)	(<u>Xu y otros, 2010</u>)
Cuenca mediterránea	Europa del sur	3–13 (mg/kg)	(<u>Kloppmann y</u> <u>otros, 2003</u>)
Fluvisoles estágnicos	Noroeste de Túnez	0,63 (mg/kg)	(<u>Tlili y otros,</u> <u>2019</u>)
Suelo superficial	Región de Cukurova en Turquía	0,96–2,69 (mg/kg)	(<u>Irmak y Vapur,</u> <u>2009</u>)
Arcilla arenosa	Noreste de la India	30,04 (mg/kg)	(<u>Bhupenchandra et</u> <u>al., 2020</u>)
Enriquecimiento fluido de los materiales volcánicos intraplaca	Campo volcánico Bakony-Balaton Highland	6,4–6,9 (mg/kg)	(<u>Gméling y otros,</u> <u>2007</u>)
Condiciones hidroquímicas	Aguas subterráneas, cerca de Jeddah, Arabia Saudita	3,7–44,98 (mg/L)	(<u>Rehman y</u> <u>Cheema, 2017</u>)
Cercanías de campos geotérmicos	Grecia del Norte	0,75 (mg/kg)	(<u>Dotsika y otros,</u> <u>2006</u>)

Fuente: [27]

2.2.18.9. Fuentes Antropogénicas

Debido a las amplias aplicaciones de Boro el consumo mundial supera los 1.5 millones de toneladas por año siendo las aplicaciones principales: cerámicas, productos farmacéuticos y cosméticos, detergentes, fertilizantes, materiales resistentes al calor, anticorrosivos, acero de alta resistencia, retardantes de llama, materiales nucleares. También siendo uno de los más utilizados en producciones industriales como son la metalurgia, minería y sus residuos y en industrias de vidrio y cerámica con un 56% de demanda en el mercado[27].

Las actividades humanas como la agricultura usan insecticidas y fertilizantes que contienen boro, estos al incorporarse tienen cantidades que van de 0.01 a 0.06%, siendo el bórax el limpiador más común en usarse y en zonas agrícolas intensivas se pueden tener niveles medios de hasta 387 µg B/L[27].

2.2.18.10. Efectos en la salud

La exposición aguda de Boro por ingestión de altas dosis ya sea esta aproximadamente 30g de ácido bórico puede ocasionar problemas digestivos severos como también afectación a órganos que procesan líquidos, también se tiene en cuenta que el Boro se elimina del cuerpo mediante la orina en aproximadamente 4 días[26].

No hay evidencia que el boro cause cáncer según estudios realizados a roedores. Los efectos tóxicos normalmente ocurren con dosis muy superiores a la exposición normal, y la primera vía de eliminación del cuerpo es por la orina. Es recomendable tener precaución en niños y mujeres en estado de gestación siendo fundamental el almacenamiento seguro de productos que contienen boro[26].

Según la Agencia de Protección Ambiental (EPA) el boro es de preocupación ya que al ingerir cantidades mayores de este metal se podría producir daños en el estómago, hígado, intestinos, riñones y el corazón[28]. El consumo excesivo del boro en los seres humanos es muy perjudicial a largo plazo, puesto que se pueden desarrollar síndromes con alta gravedad, vómitos y enfermedades cardiovasculares siendo nocivo para el humano pudiéndolo llevar hacia la muerte[29].

2.2.18.11. Efectos en Sistemas Reproductivos

Estudios en animales muestran que existe afectación a órganos reproductores masculinos, especialmente testículos, en embarazos causa bajo peso al nacer, malformaciones y retrasos en el desarrollo. Las dosis que causan estos efectos son significativamente mayores que la ingesta diaria normal[26].

2.2.18.12. Grupos Vulnerables

No hay evidencia clara sobre diferencias de susceptibilidad entre niños y adultos, pero se debe tener cuidados preventivos como lo son la especial atención a embarazadas por posibles

efectos en el desarrollo fetal y existen diferentes poblaciones donde existe zonas contaminantes donde niños tienen mayor riesgo de exposición[26].

2.2.19. Marco Legal

Para la calidad del agua es necesaria la gestión y control de entidades gubernamentales las cuales establecen parámetros necesarios que garanticen la protección de la salud humana y la preservación del medio ambiente. En Ecuador, la legislación ambiental se ha desarrollado de manera progresiva, adaptándose a estándares internacionales y a las necesidades específicas del país.

2.2.19.1. Base Constitucional

La Constitución del Ecuador establece distintos derechos y garantías relacionados al agua.

En el primer capítulo sobre los derechos fundamentales, se explica en los artículos 12 y 14 que el agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescindible y esencial para la vida, y que es de interés público la preservación del ambiente, conservación de ecosistemas, biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país esto respectivamente a cada artículo[30].

En el segundo capítulo sobre los derechos de la naturaleza en el artículo 71 y 72 que expresan que la naturaleza tiene el derecho a que se respete la integridad su existencia y el mantenimiento y regeneración de los ciclos vitales, teniendo así la naturaleza derechos a la restauración[30].

En el tercer capítulo sobre los sectores estratégicos y recursos naturales donde el artículo 318 expresa que se prohíbe la privatización del agua, la gestión del agua será pública y comunitaria, ya que, el abastecimiento será prestados únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias ya que el Estado es la única autoridad responsable de la planificación y gestión de los recursos hídricos[30].

En el capítulo cuatro sobre la biodiversidad y recursos naturales los artículos 411 y 412 hablan sobre la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico, precautelando la calidad y cantidad de agua. La autoridad encargada cooperará y coordinará la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua[30].

2.2.19.2. Marco Regulatorio nacional

2.2.19.2.1. ARCA

Agencia de Regulación y Control del Agua encargada de todo lo que conlleva el recurso hídrico a nivel nacional siendo las funciones principales la supervisión de la calidad del agua en sectores públicos, monitoreo y aprovechamiento de los usos y destinos del agua[31].

2.2.19.2.2. MAATE

El Ministerio del Ambiente, Agua y Transparencia Ecológica se dedica a la fomentación de políticas ambientales y de gestión del recurso hídrico, sustentando el desarrollo sostenible de los recursos para con ello mantener un equilibrio armónico en lo económico, ambiental y social[32].

2.2.19.2.3. Libro VI TULSMA Anexo 1

Documento normativo ambiental el cual establece políticas y regulaciones para la gestión ambiental donde el Anexo 1 es la normativa de calidad ambiental y descargas de efluentes basado en el agua[10], donde se establecen límites permisibles para las descargas de cuerpos de agua, descargas de sistemas de alcantarillado y para distintos usos donde se definen los criterios de calidad según su uso a:

- Consumo humano
- Uso agrícola
- Uso pecuario
- Uso recreativo
- Uso industrial

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1.METODOLOGÍA

La metodología científica se usó para el estudio investigativo, este permite ampliar la comprensión conceptual para el desarrollo de nuevos enfoques de investigación. Siendo fundamental en el enriquecimiento de formación profesional, y así ofrecer soluciones a las problemáticas sociales. Centrando el estudio en un enfoque cuantitativo ya que se utiliza la observación del proceso para la recolección de datos para con ello responder la pregunta de investigación [33]. La metodología científica tuvo un enfoque cuantitativo al tener la

recopilación de datos obtenidos para después interpretar y analizar los valores obtenidos dando una comprensión e interpretación a los análisis expuestos.

También se utilizó el método explicativo que según [34] sirve para diferenciar los fenómenos estudiados y con ello definir su origen. Va de la mano con el método cuantitativo estableciendo causales entre diferentes variables en este caso el exceso del metal boro y sus altos niveles que sobrepasan los límites permisibles.

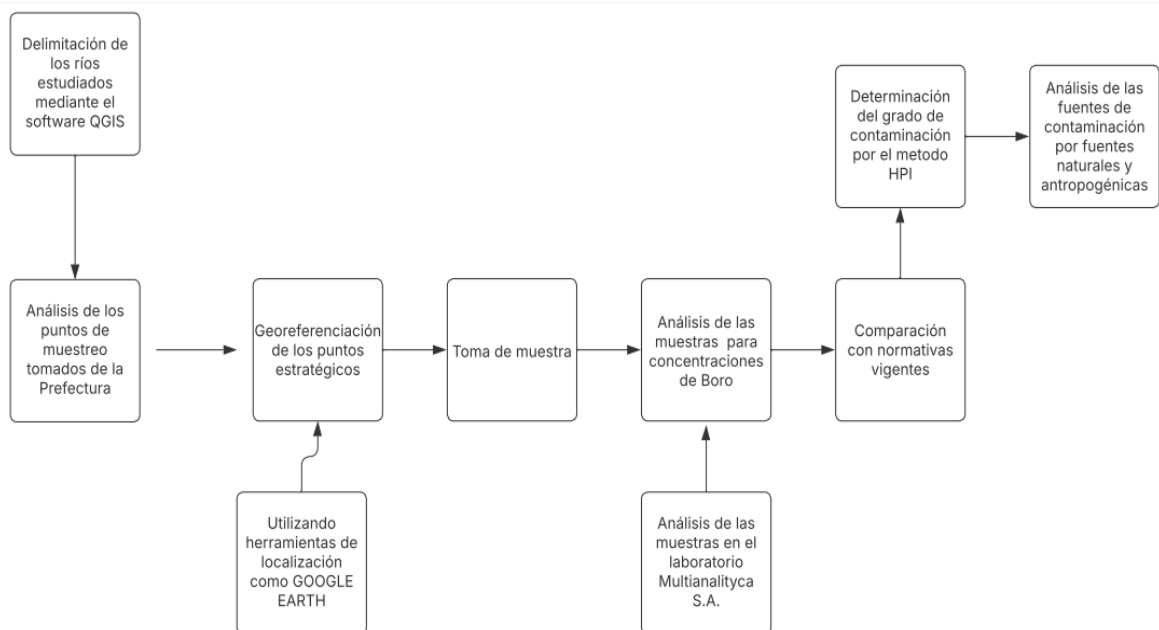


Figura 1: Sistema de flujo de actividades realizadas a lo largo de la investigación
Elaborado por: Autor

3.2. Área de estudio

En la provincia de Cotopaxi habita una población de aproximadamente 300.000 habitantes con un área superficie de 6071 km², enmarcado de montañas y volcanes siendo uno de sus principales el volcán Cotopaxi el cual pertenece a la Cordillera Oriental de los Andes, situado a una distancia aproximada de 35 km al Noroeste de Latacunga, 70 km del Noroeste de la Provincia del Tena y a 45 km al Sureste de Quito según datos del IGM[35]. En la clasificación de los suelos según su textura, la superficie de Cotopaxi tiene una mayor composición de suelo franco arenoso, esto quiere decir que el 82% de la superficie del suelo de la provincia es apto para la actividad agrícola pese a esto existen limitaciones las cuales no permiten el

uso del suelo (geología, geomorfología, relieve, clima, régimen hídrico, protección y conservación del suelo)[6].

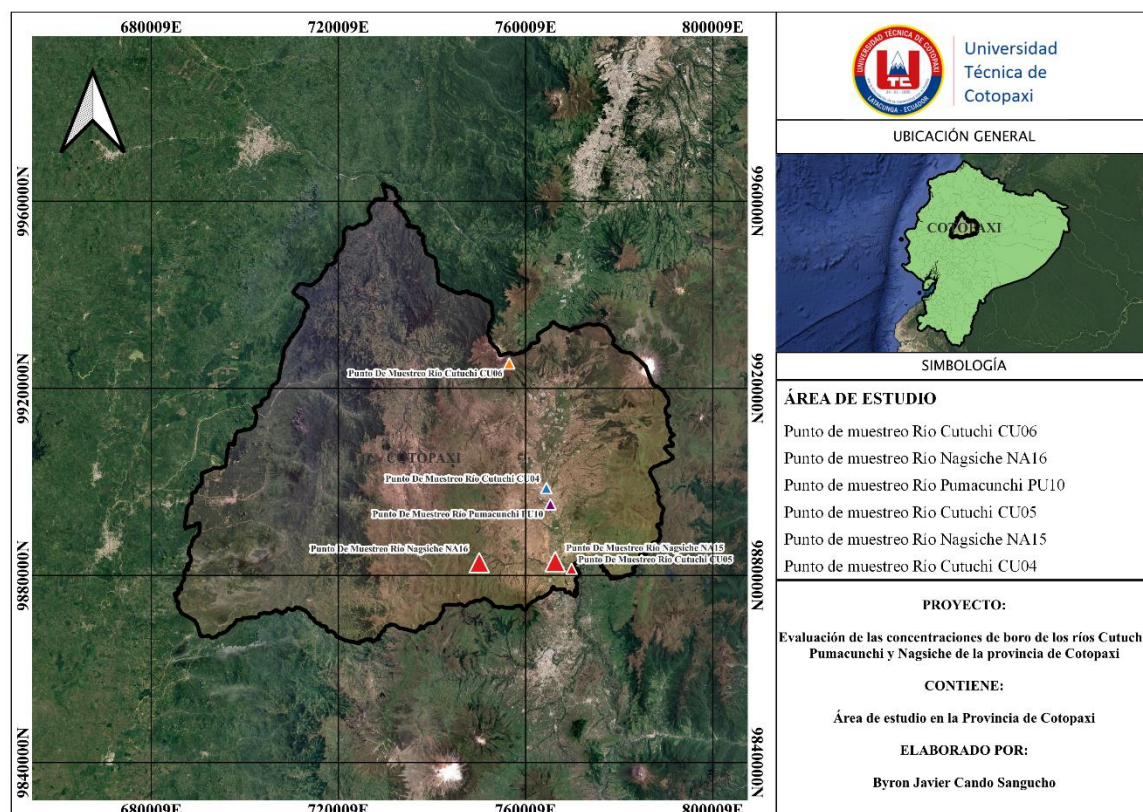


Figura 2: Área de estudio ubicada en la provincia de Cotopaxi
Elaborado por: Autor

3.3.Datos

El Ecuador se enmarca geográficamente por la Cordillera de los Andes, la cual, esta subdividida en 3 cordilleras principales como lo son las cordilleras de Occidente, cordillera de Oriente y la cordillera Suboriental. El enfoque de la investigación se centra en la cordillera a la que se centra la investigación es la Cordillera Oriental, está siendo la más elevada del país, esta recorre elevaciones como: el Mirador, Cayambe, Antisana, Cotopaxi, Tungurahua, Altar y Sangay, esta cordillera es una de las más altas del país[36].

La Cordillera Oriental está formada principalmente por rocas metamórficas de medio a bajo grado metamórfico, intercaladas por granitoides tipo S y tipo I. Debido a la sucesión de eventos tectónicos y magmáticos las rocas han sido afectadas a lo largo del tiempo, [37] indica el modelo, en el cual, la Cordillera Oriental se subdivide en cinco unidades separadas

por fallas regionales, unidades de oeste como: Guamote, Alao, Loja, Salado y Zamora, cada una reflejando la historia completa de la región andina.

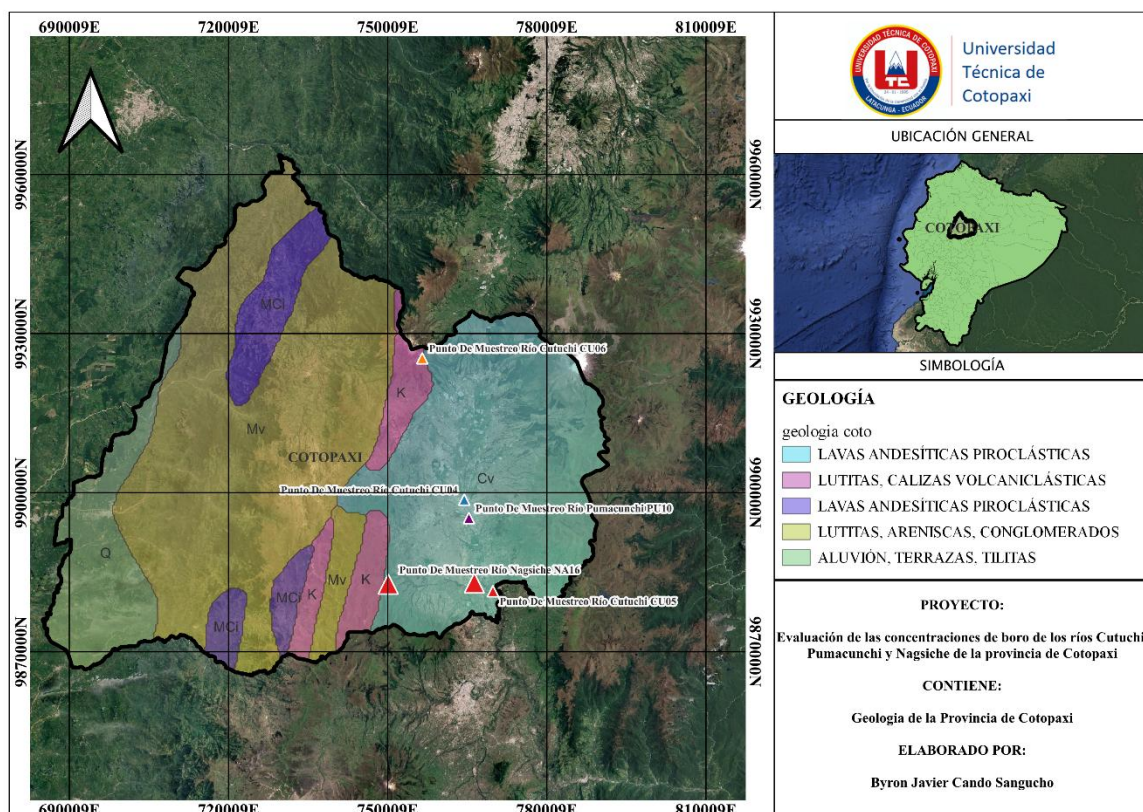


Figura 3: Geología de la provincia Cotopaxi
Elaborado por: Autor

3.3.1. Descripción de los ríos estudiados

Los ríos que fueron seleccionados para ejecutar la investigación pertenecen a la provincia de Cotopaxi, Ecuador, estos ríos son los más utilizados para labores agrícolas, industriales y usos domésticos

3.3.2. Cuenca Hidrográfica del río Cutuchi

El río Cutuchi siendo uno de los principales abastecedores de agua para productores agrícolas en Cotopaxi como lo es la ciudad de Latacunga y Salcedo son las más beneficiadas y en Tungurahua la ciudad de Ambato teniendo un caudal de 4500 L/sg aportando a cerca de 7500 Ha de suelo agrícola[38].

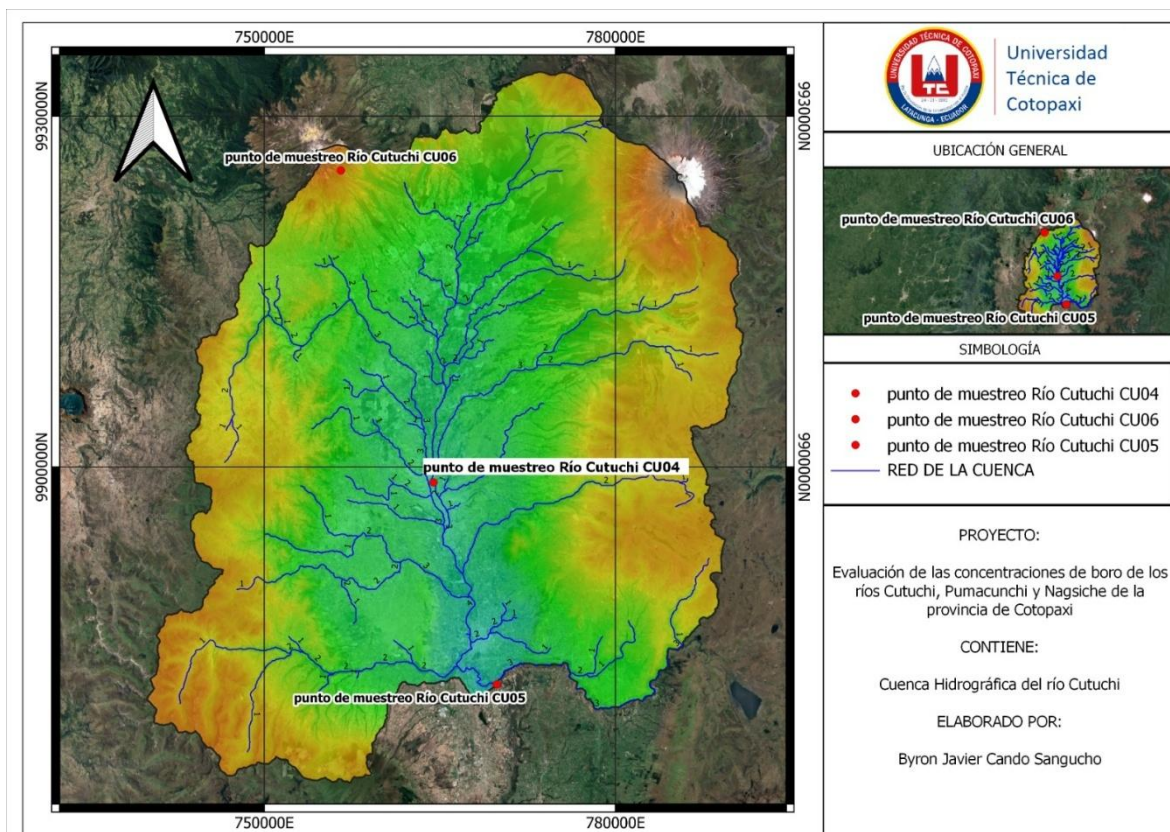


Figura 4: Delimitación de la subcuenca del río Cutuchi con sus puntos de muestreo
Elaborado por: Autor

El río Cutuchi al realizar la delimitación de la cuenca hidrográfica se interpreta según clasificación de cuencas explicada a detalle en la Tabla 1, clasificada como subcuenca al tener un área de 2407.49 km².

3.3.3. Cuenca Hidrográfica del río Pumacunchi

El río Pumacunchi afluente del río Cutuchi, quien es un aportante de aproximadamente unos 30.000 m³ de recolección de aguas residuales y siendo afectado a los sistemas de riego por contaminación de fertilizantes y fungicidas [39].

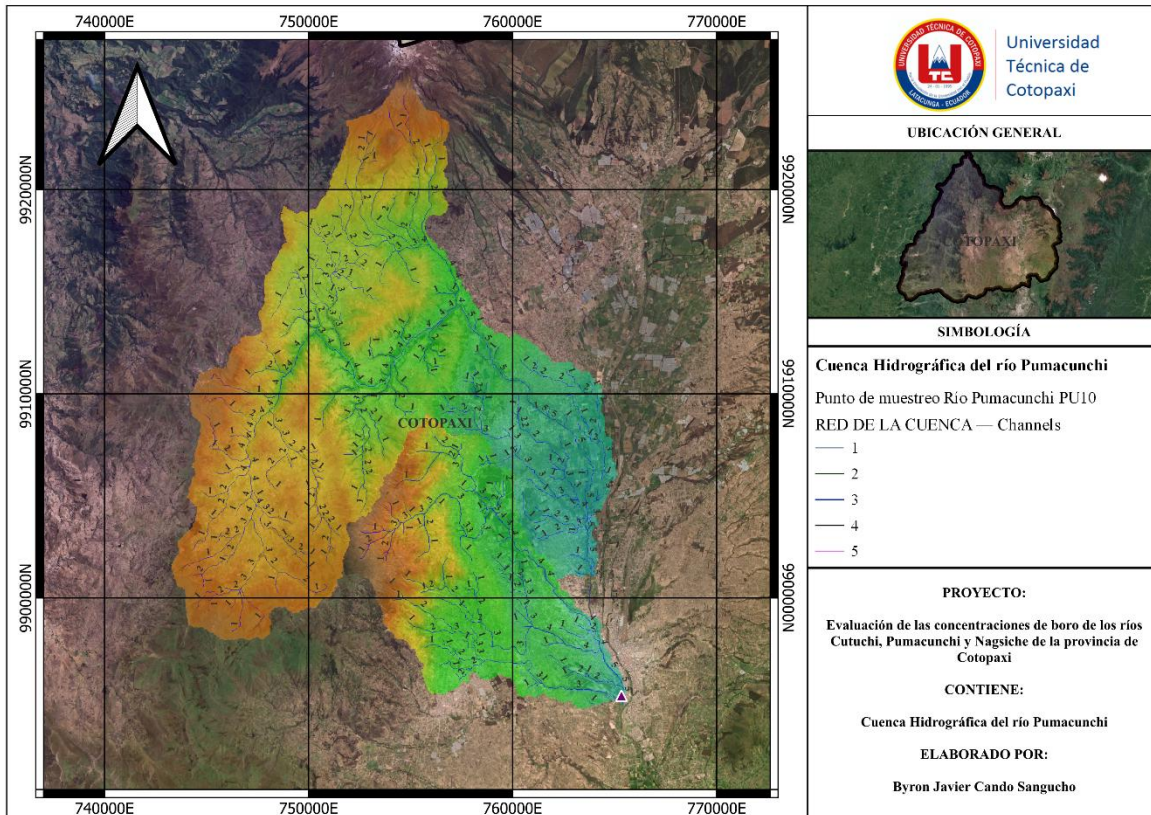


Figura 5: Delimitación de la microcuenca del río Pumacunchi con su punto de muestreo
Elaborado por: Autor

El río Pumacunchi al realizar la delimitación de la cuenca hidrográfica se interpreta según clasificación de cuencas explicada a detalle en la Tabla 1, clasificada como microcuenca al tener un área de 181.43 km².

3.3.4. Cuenca Hidrográfica del río Nagsiche

El río Nagsiche es uno de los principales ríos utilizados en la ciudad de Salcedo para la actividad agrícola y ganadera, abasteciendo a la parroquia de Cusubamba aprovechando el agua para riego y uso doméstico con 430.723 L/sg y 150.77 L/sg de caudal respectivamente[40].

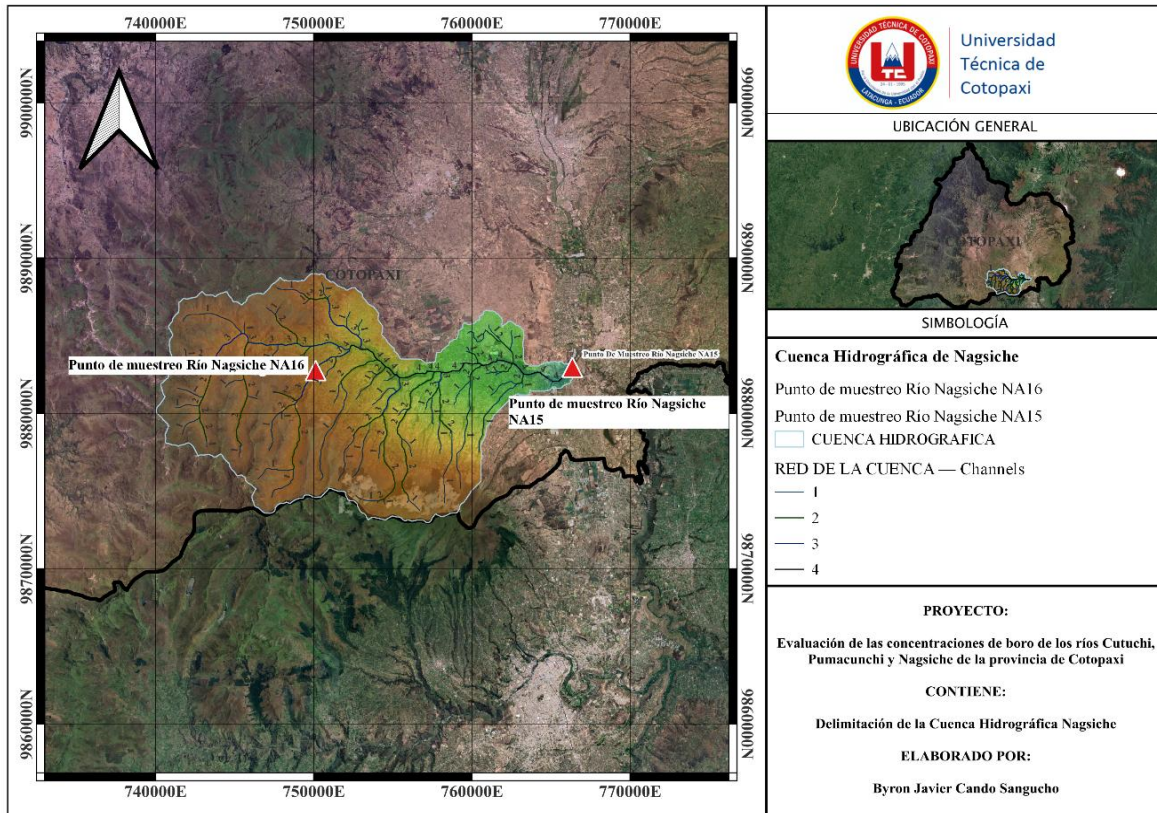


Figura 6: Delimitación de la microcuenca Nagsiche con sus puntos de muestreo
Elaborado por: Autor

El río Nagsiche al realizar la delimitación de la cuenca hidrográfica se interpreta según clasificación de cuencas explicada a detalle en la Tabla 1, clasificada como microcuenca al tener un área de 256.58 km².

Ríos donde existe un alto contenido de boro, esto se conoce gracias a estudios previos de muestreos realizados por la Prefectura de Cotopaxi en los periodos 2022-2023, con los cuales se realizó una evaluación externa en el año 2024 tomando las zonas con más concentraciones de boro con las cuales se comprueba si los valores tomados con anterioridad han incrementado o han disminuido.

3.4. Muestreo

La recolección de muestras se realizó el mes de Julio del 2022 y los primeros meses del año 2023. Se realizó el muestreo en 28 puntos de los ríos de la provincia de Cotopaxi, de los cuales, se tomaron dos muestras una en el año 2022 y en el año siguiente. Muestras tomadas por la Prefectura de Cotopaxi en las distintas ubicaciones como muestra la Tabla 4.

Tabla 4*Coordenadas UTM de los puntos de muestreo tomadas por la Prefectura de Cotopaxi*

Muestra	Ubicación (Ríos)	Coordenadas	
		UTM	
		x	y
AL01	Aláquez	777731	9913048
AL02	Aláquez	764317	9898326
AL03	Aláquez	783441	9909957
CU04	Cutuchi	764198	9898321
CU05	Cutuchi	769604	9881058
CU06	Cutuchi	756283	9924979
PI07	Pita	792595	9928357
QP08	Jambelí	792595	9928357
PU09	Pumacunchi	746986	9904815
PU10	Pumacunchi	765073	9894843
IL11	Illuchi	776554	9898601
IL12	Illuchi	766813	9891387
IS13	Isinche	765428	9889101
YA14	Yanayacu	769724	9881266
NA15	Nagsiche	766099	9882599
NA16	Nagsiche	749864	9882389
QU17	Quititoa	738157	9924728
HU18	Huantupulog	737183	9886355
QU17	Quititoa	738157	9924728
TO19	Toachi	728317	9963782
TG20	Toachi Grande	712630	9938455
LU21	Lulu Grande	708028	9924345
QU22	Quindigua	704122	9913404
AO23	Apagua	729010	9890532
EH24	Estero Hondo	689839	9874715

AN25	Angamarca	719175	9875527
AN26	Angamarca	693554	9866847
	Estero		
EC27	Calabasito-	689773	9869673
	Calabi		
AP28	San Pablo	689342	9897206

Elaborado por: Autor

La toma de muestras se cumplió en base a la Normativa Técnica ecuatoriana establecida, NTE-INEN 2169-2013, esta establece precauciones generales para la preservación y transporte de muestras de agua para análisis biológico NTE-INEN 2176-2013, que establece la guía técnica de muestreo para la obtención de datos necesarios en el análisis de control de calidad y la NTE-INEN 2226-2013, el cual establece los principios generales a ser aplicados en el diseño de programas de muestreo para el control de calidad.

3.5. Toma y recolección de muestras

Se realizó un estudio de los puntos valores excedentes de Boro, este estudio se efectuó en el mes de diciembre del 2024 en los puntos de muestreo CU04, CU05, CU06, PU10, NA15, NA16, ubicados en los ríos Cutuchi, Pumacunchi, y Nagsiche en las coordenadas señaladas en la Tabla 5.

Tabla 5

Coordenadas UTM de los puntos de muestreo de los ríos más importantes de Cotopaxi

Muestra	Ubicación (Ríos)	Coordenadas UTM	
		x	y
CU04	Cutuchi	764198	9898321
CU05	Cutuchi	769604	9881058
CU06	Cutuchi	756283	9924979
PU10	Pumacunchi	765073	9894843
NA15	Nagsiche	766099	9882599
NA16	Nagsiche	749864	9882389

Elaborado por: Autor

La extracción de las muestras se realizó en los puntos de muestreo según las coordenadas señaladas en la Tabla 5, tomando 1 litro de agua para cada una de las muestras, esto a una profundidad estratégica de entre los 30 y 40 cm para no tener contaminantes superficiales como sólidos suspendidos o evitar la presencia de sedimentos en el fondo del río para impedir cambios que perjudiquen a la muestra y su valor real.

Luego de esto se llevó a cabo la filtración del agua, que para asegurar la calidad de la muestra se usaron papel filtro y una bomba de vacío marca BOECO, modelo R-300 VACUUM PUMP, permitiendo que el agua tenga una mejor limpieza de partículas suspendidas teniendo una mejor precisión en los resultados analíticos.

3.5.1. Mediciones “in situ”

Utilizando el medidor multiparámetro marca HANNA® se ejecutaron las mediciones de los parámetros físico-químicos como la temperatura, conductividad y pH del agua. Para las mediciones se calibro el equipo tomando en cuenta los instructivos de uso del equipo otorgado por el ingeniero tutor.

Para la toma de muestras se homogeneizaron los recipientes de plástico utilizados para cada punto de muestreo de los cuerpos de agua analizados. Posteriormente para la determinación de los parámetros físico-químicos se lavaron las sondas utilizadas con agua destilada para evitar la contaminación de las muestras, para finalmente introducir la sonda al recipiente para la medición y registrar los datos que lanza el equipo de cada uno de los parámetros.

Tabla 6

Datos tomados de los parámetros físico-químicos del agua

Muestra	Ubicación	Temperatura (°C)	pH (upH)	Conductividad (S/m)
CU04	Cutuchi	18.65	7.34	0.61
CU05	Cutuchi	17.78	7.56	0.58
CU06	Cutuchi	16.78	7.8	0.69

PU10	Pumacunchi	18.2	7.7	0.71
NA15	Nagsiche	19.28	7.69	0.98
NA16	Nagsiche	19.31	7.74	0.72

Elaborado por: Autor

3.6. Transporte y almacenamiento de las muestras

Las muestras tomadas se colocaron en envases de plástico de un litro en los cuales para preservación de la muestra se colocó ácido nítrico, manteniéndolos a una temperatura estimada de 4°C y puestos en coolers con hielos hasta llegar al laboratorio. En el laboratorio, siguieron métodos analíticos específicos para la cuantificación del boro, en conformidad a los requisitos de precisión establecidos en la NTE INEN 2169.

Tabla 7

Almacenamiento de las muestras para preservación hasta llegada al laboratorio

Numero de muestras	Parámetros	Expresado como	Volumen de muestra	Conservación	Tiempo de conservación
6	Boro	B	1000 mL	HNO3 pH<2 Refrigerar	Hasta 6 meses

Elaborado por: Autor

3.7. Determinación de metales pesados en muestras de agua

El método utilizado por el laboratorio MFQ-197 el cual usa métodos de referencia como EPA 3005 A. Rev. 01, 1992, EPA 6010B, December 1996, SM. Ed. 24, 2023, 3120B / Espectro UV/VIS métodos importantes para el análisis de metales donde el método EPA3005, Rev. 01, 1992, usado para aguas superficiales y subterráneas permite la determinación de metales disueltos y suspendidos en el agua[41].

El método de referencia EPA 6010B[42], December 1996 y el Estándar Methods Ed. 24, 2023, 3120B [43] expresan que son métodos que detectan a una alta precisión múltiples metales simultáneamente con técnicas espectrofotométricas dando precisión al análisis de metales.

3.8. Coeficiente de correlación lineal de Pearson y coeficiente de Determinación.

Modelo matemático que se aplica en el estudio de correlaciones y regresiones lineales, al relacionar la matemática (función lineal) con la estadística (correlaciones y regresiones por mínimos cuadrados) con el objetivo de analizar las relaciones que se tienen entre variables. Como la Correlación de Pearson existen diferentes herramientas de análisis como el método de mínimos cuadrados con procesos matemáticos y modelos matemáticos por validación en los cuales se puede utilizar Excel para facilitar el trabajo. El coeficiente de Pearson facilita una medida numérica correlacionando dos variables cuantitativas, donde la aparente relación puede ser positiva (incremento de una variable se asocia al incremento de otra; disminución de una variable está relacionado con la disminución de otra) o negativa (relación inversa o indirecta: incremento de una variable se asocia a la disminución de otra) con diferente fuerza o intensidad de correlación de las variables como se observa en la Ilustración 7[44].

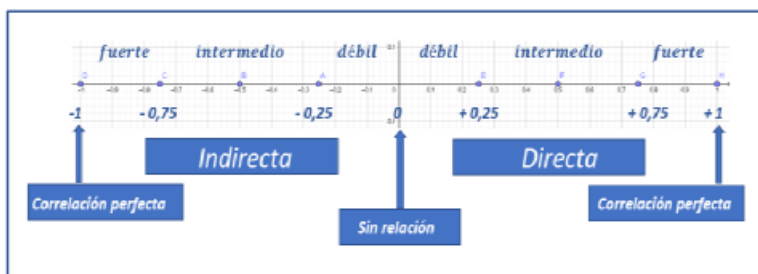


Figura 7: Coeficiente de Pearson y su intensidad

Fuente: [44]

Para el cálculo de la correlación lineal de Pearson se utiliza la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\sum xy - \left[\frac{\sum x \sum y}{n} \right]}{\sqrt{\left[\sum x^2 - \left(\frac{\sum x^2}{n} \right) \right] \left[\sum y^2 - \left(\frac{\sum y^2}{n} \right) \right]}} \quad (1)$$

Donde:

r= Coeficiente de Pearson

$\sum x$ = Sumatoria total de la variable x

$\sum y$ = Sumatoria total de la variable y

$\sum x^2$ = Sumatoria total de x^2

$\sum y^2$ = Sumatoria total de y^2

El resultado que nos dé “r” de la correlación por el coeficiente de Pearson determinara el tipo de correlación de las variables como se observa en la Tabla 8.

Tabla 8

Tipo de correlación dependiendo el resultado asociado a la fuerza de asociación.

$r=0$	No hay correlación entre las dos variables
$0 < r < 0.25$	Correlación débil
$0.25 \leq r < 0.75$	Correlación intermedia
$0.75 \leq r < 1$	Correlación fuerte
$r = \pm 1$	Correlación perfecta

Elaborado por: Autor

Fuente: [44]

Por otro lado, el coeficiente de determinación (R^2) expone la conducta de una variable en función de otra, revelando en qué medida la variable independiente expone el comportamiento de la variable dependiente[45].

3.9. Calidad del agua para metales pesados mediante el método (HPI)

El Heavy Metal Pollution Index es un índice de calidad del agua el cual indica la contaminación por metales pesados en aguas superficiales, realizando una comparación con los datos de muestreo obtenidos del agua con normativas para la calidad, el índice opta con una clasificación de niveles de contaminación[46].

- Niveles bajos (HPI < 100)
- Cerca del umbral (HPI = 100)
- Nivel crítico de contaminación (HPI > 100) como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 9

Clasificación de la calidad del agua con el cálculo de HPI

HPI	Calidad del agua
------------	-------------------------

< 100	Niveles bajos de contaminación
100	Niveles cercanos al umbral
> 100	Nivel crítico de contaminación

Elaborado por: Autor

Fuente: [46]

Esta clasificación se da mediante el cálculo de HPI con la siguiente ecuación:

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n w_i Q_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2)$$

Donde:

w_i = Peso relativo de un metal o coeficiente de ponderación

n = Número total de parámetros a considerar

para el coeficiente de ponderación se aplica la siguiente ecuación:

$$w_i = \frac{k}{S_i} \quad (3)$$

Donde:

k = es la constante de proporcionalidad establecida en el método HPI y

S_i = norma recomendada para el parámetro este valor tomado de la normativa ecuatoriana TULSMA[47].

$$Q_i = \sum_{i=1}^n \frac{\{M_i(-)l_i\}}{(S_i - l_i)} * 100 \quad (4)$$

Q_i es el subíndice del parámetro, el cual, utiliza el valor monitoreado, ideal y estándar para cada parámetro el cual simplificándolo queda como la siguiente ecuación[47]:

$$Q_i = 100 * \frac{v_i}{S_i} \quad (5)$$

Donde

v_i = Valor medido del parámetro o promedio de los resultados analizados y

S_i = Limite permisible o valor aceptado en la normativa TULSMA[47].

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.Resultados

Los resultados de análisis para la calidad del agua con respecto al Boro realizados en el periodo de los años 2022 y 2023 con ayuda del Memorando Nro. GADPC-GRYD-WC-RP-2023-0.003 de la Prefectura de Cotopaxi dieron como resultado que 6 de los 28 puntos de muestreo tuvieron un aumento significativo como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10

Resultados de las concentraciones de Boro de los años 2022 y 2023 dados por la Prefectura de Cotopaxi

Muestra	Ríos	Resultados	Resultados
		2022	2023
AL01	Aláquez	< 0,500 mg/L	< 0,500 mg/L
AL02	Aláquez	< 0,500 mg/L	0,5 mg/L
AL03	Aláquez	< 0,500 mg/L	< 0,500 mg/L
CU04	Cutuchi	< 0,500 mg/L	0,9 mg/L
CU05	Cutuchi	0,7 mg/L	1,6 mg/L
CU06	Cutuchi	< 0,500 mg/L	0,6 mg/L

PI07	Pita	< 0,500 mg/L	< 0,500 mg/L
QP08	Jambelí	< 0,500 mg/L	< 0,500 mg/L
PU09	Pumacunchi	< 0,500 mg/L	< 0,500 mg/L
PU10	Pumacunchi	< 0,500 mg/L	3,2 mg/L
IL11	Illuchi	< 0,500 mg/L	< 0,500 mg/L
IL12	Illuchi	< 0,500 mg/L	< 0,500 mg/L
IS13	Isinche	< 0,500 mg/L	< 0,500 mg/L
YA14	Yanayacu	< 0,500 mg/L	< 0,500 mg/L
NA15	Nagsiche	< 0,500 mg/L	8,1 mg/L
NA16	Nagsiche	< 0,500 mg/L	1,4 mg/L
QU17	Quititoa	< 0,500 mg/L	< 0,500 mg/L
HU18	Huantupulog	< 0,500 mg/L	< 0,500 mg/L
QU17	Quititoa	< 0,500 mg/L	< 0,500 mg/L
TO19	Toachi	< 0,500 mg/L	< 0,500 mg/L
TG20	Toachi Grande	< 0,500 mg/L	< 0,500 mg/L

LU21	Lulu Grande	< 0,500 mg/L	< 0,500 mg/L
QU22	Quindigua	< 0,500 mg/L	< 0,500 mg/L
AO23	Apagua	< 0,500 mg/L	< 0,500 mg/L
EH24	Estero Hondo	< 0,500 mg/L	0,6 mg/L
AN25	Angamarca	< 0,500 mg/L	0,022 mg/L
AN26	Angamarca	< 0,500 mg/L	0,6 mg/L
EC27	Estero Calabasito- Calabi	< 0,500 mg/L	< 0,500 mg/L
AP28	San Pablo	< 0,500 mg/L	< 0,500 mg/L

Elaborado por: Autor

Los puntos de muestreo en la Provincia de Cotopaxi que tienen un aumento significativo en el año 2023 son ríos que se utilizan, ya sea, para la agricultura, pecuarios, para las aguas residuales industriales y de la población. Estos ríos son: Cutuchi, Pumacunchi y Nagsiche como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11

Muestras que en el año 2023 tuvieron un aumento significativo de la concentración de boro en los ríos

Muestra	Ubicación	Resultados 2022 de las concentraciones de Boro	Resultados 2023 de las concentraciones de Boro
CU04	Latacunga	< 0,500 mg/L	0,9 mg/L
CU05	Salcedo	0,7 mg/L	1,6 mg/L

CU06	Volcán Ilinizas	< 0,500 mg/L	0,6 mg/L
PU10	Latacunga	< 0,500 mg/L	3,2 mg/L
NA15	Cusubamba	< 0,500 mg/L	8,1 mg/L
NA16	Cusubamba	< 0,500 mg/L	1,4 mg/L

Elaborado por: Autor

El análisis de datos dio como resultado que la contaminación es mayor en el año 2023 en los ríos Cutuchi, Pumacunchi y Nagsiche proporcionando resultados que, según las normativas vigentes, los valores de estos puntos de muestreo pueden ser mayores a los límites permisibles. Para el análisis se hicieron correlaciones de los valores que se obtuvieron con los límites permisibles de distintas instituciones que fomenten la salud humana y la calidad ambiental que utilizan reglamentaciones sobre las concentraciones de boro como lo es la TULSMA Anexo 1 que propone la prevención y el control ambiental.

4.1.1. Para agua de consumo humano

Tabla 12

Correlación de los resultados del 2023 con las normativas ecuatorianas e internacionales vigentes para consumo humano

Muestra	Ubicación	Resultados 2023 de las concentraciones de Boro	TULSMA Consumo por desinfección	TULSMA Consumo tratamiento convencional
CU04	Latacunga	0,9 mg/L		
CU05	Salcedo	1,6 mg/L		
CU06	Volcán Ilinizas	0,6 mg/L	0,75 mg/L	NO APLICA
PU10	Latacunga	3,2 mg/L		
NA15	Cusubamba	8,1 mg/L		
NA16	Cusubamba	1,4 mg/L		

Elaborado por: Autor

En el libro VI TULSMA Anexo 1 establece criterios de calidad del agua para el consumo humano. Al analizar cada uno de los puntos de muestreo y comparando con los límites permisibles para el consumo humano del libro VI TULSMA Anexo 1, se observa que 5 de las 6 muestras sobrepasan los límites permisibles y no son aptas para consumir siendo el punto PU10 y el punto NA15 los más altos como se muestra en la Tabla 12.

4.1.2. Para preservación de flora y fauna

Por otra parte, en la preservación de la flora y fauna en el libro VI TULSMA Anexo 1, 5 de las 6 muestras sobrepasan los límites permisibles dejando a saber que no puede haber vida acuática en los ríos como muestra la Tabla 13.

Tabla 13

Correlación de los resultados del año 2023 con la normativa para preservación de flora y fauna en agua dulce

Muestra	Ubicación	Resultados 2023 de las concentraciones de Boro	TULSMA Preservación flora y fauna agua dulce
CU04	Latacunga	0,9 mg/L	
CU05	Salcedo	1,6 mg/L	
CU06	Volcán Ilinizas	0,6 mg/L	0,75 mg/L
PU10	Latacunga	3,2 mg/L	
NA15	Cusubamba	8,1 mg/L	
NA16	Cusubamba	1,4 mg/L	

Elaborado por: Autor

4.1.3. Para uso agrícola

Para uso agrícola, en la Tabla 14 se observa que 4 de los 6 puntos sobrepasan el límite, esto siendo preocupante en el punto de muestreo NA15 en Nagsiche, ya que, es uno de los ríos más usados para la actividad agrícola.

Tabla 14*Correlación de los resultados del 2023 con normativas vigentes para uso agrícola*

Muestra	Ubicación	Resultados 2023 de las concentraciones de Boro	TULSMA Uso agrícola
CU04	Latacunga	0,9 mg/L	
CU05	Salcedo	1,6 mg/L	
CU06	Volcán Ilinizas	0,6 mg/L	1 mg/L
PU10	Latacunga	3,2 mg/L	
NA15	Cusubamba	8,1 mg/L	
NA16	Cusubamba	1,4 mg/L	

Elaborado por: Autor**4.1.4. Para uso pecuario**

Para uso pecuario, pese a que el valor admisible en la normativa es alto el punto de NA15 sobrepasa el valor y es aconsejable no poner ganado en el sector por posibles infecciones.

Tabla 15*Correlación de los resultados del 2023 con normativas vigentes para uso pecuario*

Muestra	Ubicación	Resultados 2023 de las concentraciones de Boro	TULSMA Uso pecuario
CU04	Latacunga	0,9 mg/L	
CU05	Salcedo	1,6 mg/L	
CU06	Volcán Ilinizas	0,6 mg/L	5 mg/L
PU10	Latacunga	3,2 mg/L	
NA15	Cusubamba	8,1 mg/L	
NA16	Cusubamba	1,4 mg/L	

Elaborado por: Autor

Con los datos tomados el año 2023 de los puntos de muestreo en los ríos Cutuchi, Pumacuchi y Nagsiche, permite conocer que, los valores son muy altos que sobrepasan los límites permisibles de las normativas expuestas. En el año 2024 se realizó un nuevo estudio enviando las muestras al laboratorio Multianálityca S.A. de los mismos puntos de muestreo esto para determinar si existe un incremento o disminución de las concentraciones de Boro, los nuevos resultados obtenidos de un laboratorio externo al de la Prefectura de Cotopaxi dieron como resultado los valores establecidos en la Tabla 16.

Tabla 16

Resultados de las pruebas de laboratorio Multianálityca S.A. de la ciudad de Quito, realizadas en el 2024

Muestra	Ubicación	Resultados 2024 de las concentraciones de Boro
CU04	Latacunga	0,935 mg/L
CU05	Salcedo	0,155 mg/L
CU06	Volcán Ilinizas	7,66 mg/L
PU10	Latacunga	3,73 mg/L
NA15	Cusubamba	5,97 mg/L
NA16	Cusubamba	6,21 mg/L

Elaborado por: Autor

Datos con los que se realizó una gráfica de barras para poder observar de mejor manera las concentraciones de boro en los puntos de muestreo de los ríos Cutuchi, Pumacunchi y Nagsiche en el periodo 2022-2024

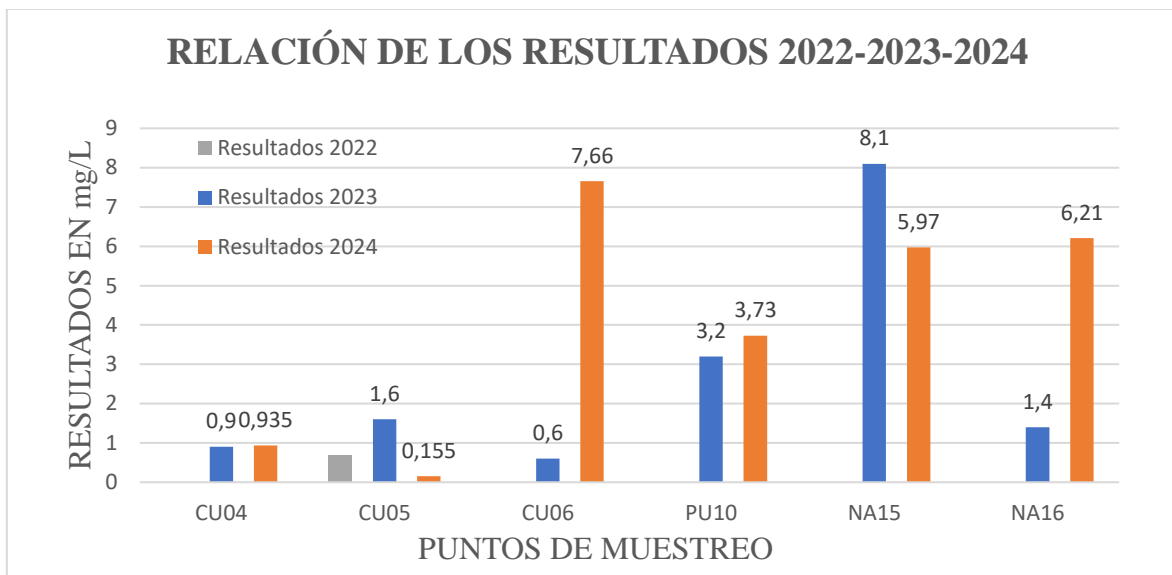


Figura 8: Comparación de los resultados en los años 2022-2024

Elaborado por: Autor

Los valores obtenidos tuvieron un incremento en distintos puntos de muestreo para los cuales se compararon con la normativa ecuatoriana Libro Vi TULSMA Anexo 1 y analizar los resultados.

4.1.5. Correlación de las concentraciones de boro con los parámetros físico-químicos del agua

Previamente se realizó la medición de los parámetros físico- químicos del agua para realizar la correlación que tienen los parámetros físico-químicos con las concentraciones de boro para la cual se realizó la siguiente Tabla 17.

Tabla 17

Correlación de la concentración de boro con los parámetros físico-químicos del agua

Muestra	Concentraciones de boro (mg/L)	pH (upH)	Temperatura (°C)	Conductividad eléctrica (S/m)
---------	--------------------------------	----------	------------------	-------------------------------

CU04	0,935	7,34	18,65	0,61
CU05	0,155	7,56	17,78	0,58
CU06	7,66	7,8	16,46	0,69
PU10	3,73	7,7	18,2	0,71
NA15	5,97	7,69	19,28	0,98
NA16	6,21	7,74	19,31	0,72

Elaborado por: Autor

Con los datos establecidos en la Tabla 17 se puede realizar el cálculo para la correlación por el coeficiente de Pearson por cada una de las variables, para la primera relación se tomó las variables de pH (X) y la concentración de boro (Y) como se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18

Correlación de pH vs Concentración de boro

N° Muestras	X (pH en upH)	Y (Concentración de Boro en mg/L)	X ²	Y ²	XY
1	7,34	0,935	53,87	0,87	6,86
2	7,56	0,155	57,15	0,024	1,17
3	7,8	7,66	60,84	58,68	59,74
4	7,7	3,73	59,29	13,91	28,72
5	7,69	5,97	59,14	35,64	45,91
6	7,74	6,21	59,91	38,56	48,07
Σ	45,83	24,66	350,20	147,69	190,48

Elaborado por: Autor

Dados los valores de la sumatoria se procede a utilizar la Ecuación de la correlación lineal de Pearson donde tenemos el siguiente resultado mostrado en la Tabla 19:

Tabla 19

Resultado del coeficiente de Pearson para pH-Concentración de boro

Coeficiente de Pearson	Coeficiente de Determinación
-------------------------------	-------------------------------------

0,837

0,700

Elaborado por: Autor

Tal cual como se realizó la correlación para pH se procede a realizar para la correlación entre Temperatura y concentración de boro.

Tabla 20

Correlación de Temperatura vs Concentración de boro

N° de muestra	X (Temperatura °C)	Y (Concentración de boro mg/L)	X ²	Y ²	XY
1	18,65	0,935	347,82	0,87	17,44
2	17,78	0,155	316,13	0,024	2,76
3	16,46	7,66	270,93	58,6/8	126,08
4	18,2	3,73	331,24	13,91	67,89
5	19,08	5,97	364,05	35,64	113,91
6	19,31	6,21	372,88	38,56	119,92
Σ	109,48	24,66	2003,045	147,69	447,99

Elaborado por: Autor

Donde de igual manera se usa la Ecuación de la correlación lineal de Pearson para tener los resultados en la Tabla 21.

Tabla 21

Resultado del coeficiente de Pearson para Temperatura-Concentración de boro

Coeficiente de Pearson	Coeficiente de Determinación
-0,125	0,016

Elaborado por: Autor

Finalmente se realiza la correlación para Conductividad y Concentración de Boro.

Tabla 22*Correlación de Conductividad vs Concentración de boro*

N° de muestra	X (Conductividad S/m)	Y (Concentración de boro mg/L)	X ²	Y ²	XY
1	0,61	0,935	0,37	0,87	0,57
2	0,58	0,155	0,34	0,02	0,09
3	0,69	7,66	0,48	58,68	5,29
4	0,71	3,73	0,50	13,91	2,65
5	0,98	5,97	0,96	35,64	5,85
6	0,72	6,21	0,52	38,56	4,47
Σ	4,29	24,66	3,17	147,69	18,92

Elaborado por: Autor

Con lo que se obtiene un resultado del coeficiente de Pearson como se muestra en la Tabla 23.

Tabla 23*Resultado del coeficiente de Pearson para Conductividad-Concentración de boro*

Coeficiente de Pearson	Coeficiente de Determinación
0,596	0,355

Elaborado por: Autor

4.1.6. Comparación de los resultados con la normativa TULSMA Anexo 1 para preservación de flora y fauna

Tabla 24*Correlación de los resultados del 2024 con normas vigentes para flora y fauna*

Muestra	Ubicación	Resultados 2024 de las concentraciones de Boro	TULSMA Preservación flora y fauna agua dulce
---------	-----------	--	--

CU04	Latacunga	0,935 mg/L	
CU05	Salcedo	0,155 mg/L	
CU06	Volcán Ilinizas	7,66 mg/L	0,75 mg/L
PU10	Latacunga	3,73 mg/L	
NA15	Cusubamba	5,97 mg/L	
NA16	Cusubamba	6,21 mg/L	

Elaborado por: Autor

Para la preservación de la flora y fauna en el libro VI TULSMA Anexo 1 establece un valor de 0.75 mg/L, donde 5 de las 6 muestras sobrepasan los límites permisibles dejando a saber que no puede haber vida acuática en los ríos como muestra la Tabla 24.

4.1.7. Comparación de los resultados con la normativa TULSMA Anexo 1 para uso agrícola

Tabla 25

Correlación de los resultados del 2024 con normas vigentes para uso agrícola

Muestra	Ubicación	Resultados 2024 de las concentraciones de Boro	TULSMA Uso agrícola
CU04	Latacunga	0,935 mg/L	
CU05	Salcedo	0,155 mg/L	
CU06	Volcán Ilinizas	7,66 mg/L	1 mg/L
PU10	Latacunga	3,73 mg/L	
NA15	Cusubamba	5,97 mg/L	
NA16	Cusubamba	6,21 mg/L	

Elaborado por: Autor

Para uso agrícola, en la Tabla 25 se observa que 4 de los 6 puntos sobrepasan el límite, esto siendo preocupante en el punto de muestreo NA15 en Nagsiche, ya que, es uno de los ríos más usados para la actividad agrícola.

4.1.8. Agua para riego

Tabla 26

Correlación de los resultados obtenidos con los valores permisibles para agua de riego

Muestra	Ubicación	Resultados 2024 de las concentraciones de Boro	TULSMA Agua para riego (ligero)
CU04	Latacunga	0,935 mg/L	
CU05	Salcedo	0,155 mg/L	
CU06	Volcán Ilinizas	7,66 mg/L	0.7 mg/L
PU10	Latacunga	3,73 mg/L	
NA15	Cusubamba	5,97 mg/L	
NA16	Cusubamba	6,21 mg/L	

Elaborado por: Autor

En la Tabla 26 se puede observar que los valores son demasiado altos excepto el punto CU05 pese a esto, el agua utilizada en los puntos donde la concentración es alta para riego puede causar daño a las plantaciones regadas, afectando a la producción de estas.

4.1.9. Uso pecuario

Para uso pecuario, pese a que el valor admisible en la normativa es alto los puntos CU06, NA15 y NA 16 sobrepasa el valor y es aconsejable no poner ganado en el sector por posibles infecciones observado en la Tabla 27.

Tabla 27

Correlación de los resultados del 2024 con normas vigentes para uso pecuario

Muestra	Ubicación	Resultados 2024	TULSMA Uso pecuario
CU04	Latacunga	0,935 mg/L	
CU05	Salcedo	0,155 mg/L	5 mg/L
CU06	Volcán Ilinizas	7,66 mg/L	
PU10	Latacunga	3,73 mg/L	

NA15	Cusubamba	5,97 mg/L
NA16	Cusubamba	6,21 mg/L

Elaborado por: Autor

En los puntos situados en el río Nagsiche los valores sobrepasan a los límites establecidos en la TULSMA Anexo 1, causando efectos adversos a la salud del ganado que se ubica en lugares allegados a este río.

4.1.10. Agua de consumo

Tabla 28

Correlación de los resultados del 2024 con normas vigentes para Consumo

Muestra	Ubicación	Resultados 2024 de las concentraciones de Boro	TULSMA Consumo por desinfección	TULSMA Consumo tratamiento convencional
CU04	Latacunga	0,935 mg/L		
CU05	Salcedo	0,155 mg/L		
CU06	Volcán Ilinizas	7,66 mg/L	0,75 mg/L	NO APLICA
PU10	Latacunga	3,73 mg/L		
NA15	Cusubamba	5,97 mg/L		
NA16	Cusubamba	6,21 mg/L		

Elaborado por: Autor

Al analizar cada uno de los puntos de muestreo y comparando con los límites permisibles para el consumo humano del libro vi TULSMA Anexo 1, se observa que 5 de las 6 muestras sobrepasan los límites permisibles y no son aptas para consumir siendo el punto CU04 (con un contenido de boro menor al resto), CU06, PU10, NA15 y el punto NA16 siendo los puntos con más concentración de Boro observado en la Tabla 28.

4.2.Cálculo del grado de contaminación con el índice de metales pesados (HPI)

En base al marco teórico se realizó el cálculo de calidad del agua para metales pesados por el método HPI en el cual se tomaron los distintos valores de los límites permisibles del libro

IV Anexo 1 para flora y fauna, uso agrícola, uso pecuario, aguas para riego y de consumo humano como se muestra en la ecuación:

Datos:

$k= 10$ valor normalmente utilizado para cálculos ambientales

S_i = limite permisible para flora y fauna; y consumo humano por desinfección 0.75mg/L, para agrícola es de 1mg/L, para uso pecuario 5mg/L y para riego con uso ligero es 0.7mg/L.

Calculo para flora y fauna; y consumo:

$$w_i = \frac{10}{0.75}$$

$$w_i = 13.33$$

$$Q_i = 100 * \frac{0.948}{0.75}$$

$$Q_i = 122.33$$

$$HPI = \frac{122.33 * 13.33}{13.33}$$

$$HPI = 122.3$$

Como se puede observar en el cálculo se realizó para todos puntos de muestreo y para los distintos criterios utilizados del libro IV TULSMA Anexo 1 para los 3 años de estudio se estableció el cálculo como se puede apreciar en la Tabla 29.

Tabla 29

HPI calculado en los diferentes criterios de calidad del agua establecidos en la norma TULSMA

Muestra	HPI para flora y fauna	HPI para uso agrícola	HPI para uso pecuario	HPI para aguas de riego	HPI para agua de consumo
CU04	122,3	93,5	18,4	131,1	122,3
CU05	109,1	15,5	16,4	116,9	109,1
CU06	550,7	766,0	82,6	590,0	550,7
PU10	462,0	373,0	69,3	495,0	462,0

NA15	938,0	597,0	140,7	1005,0	938,0
NA16	507,3	621,0	76,1	543,6	507,3

Elaborado por: Autor

Siguiendo la metodología explicada sobre el índice de calidad de agua HPI se toman los valores promedio del periodo 2022-2024, de igual manera los valores permisibles establecidos en el libro VI TULSMA 1 para el cálculo del índice de metales pesados para la preservación de flora y fauna, uso agrícola, pecuario, agua para riego y aguas para consumo.

4.3. Análisis de Resultados y Discusión

4.3.1. Correlación del boro con los parámetros físico-químicos del agua

Se realizó una correlación con valores de pH, Temperatura y conductividad con los valores de concentración de boro en los distintos puntos tomados en el año 2024 como se muestra en la Tabla 17.

En la primera correlación (pH vs Concentración de boro) existe una fuerte correlación positiva Tabla 19 (0.837) ya que, indica que, a mayor pH, mayores niveles de boro. Este resultado es vinculado con la química del boro: en condiciones más alcalinas, el boro tiende a crear iones borato que pueden tener mayor solubilidad. Con el coeficiente de determinación se puede determinar que el pH explica aproximadamente el 70% de la variabilidad en la concentración de boro como se muestra en la Figura 9.

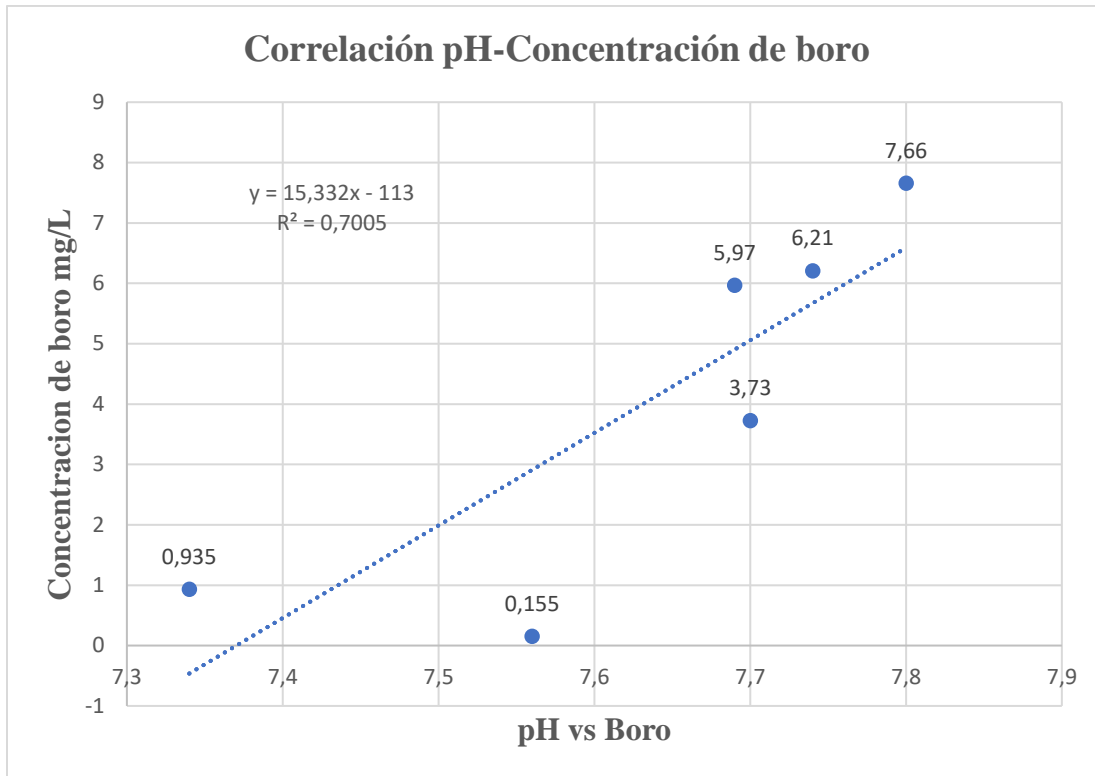


Figura 9: Relación lineal positiva entre pH-Concentraciones de boro
Elaborado por: Autor

La segunda correlación (Temperatura vs Concentración de boro) es negativa baja (-0.125) se interpreta que a mayor temperatura las concentraciones de boro disminuyen ligeramente. Esto podría explicarse por cambios de temporada (diferente disolución de minerales), o procesos geoquímicos de temperatura dependientes. El coeficiente de determinación establece que solo el 2% de la variación de las concentraciones de boro se aumentan por cambios de temperatura esto se puede ver en la Figura 10.

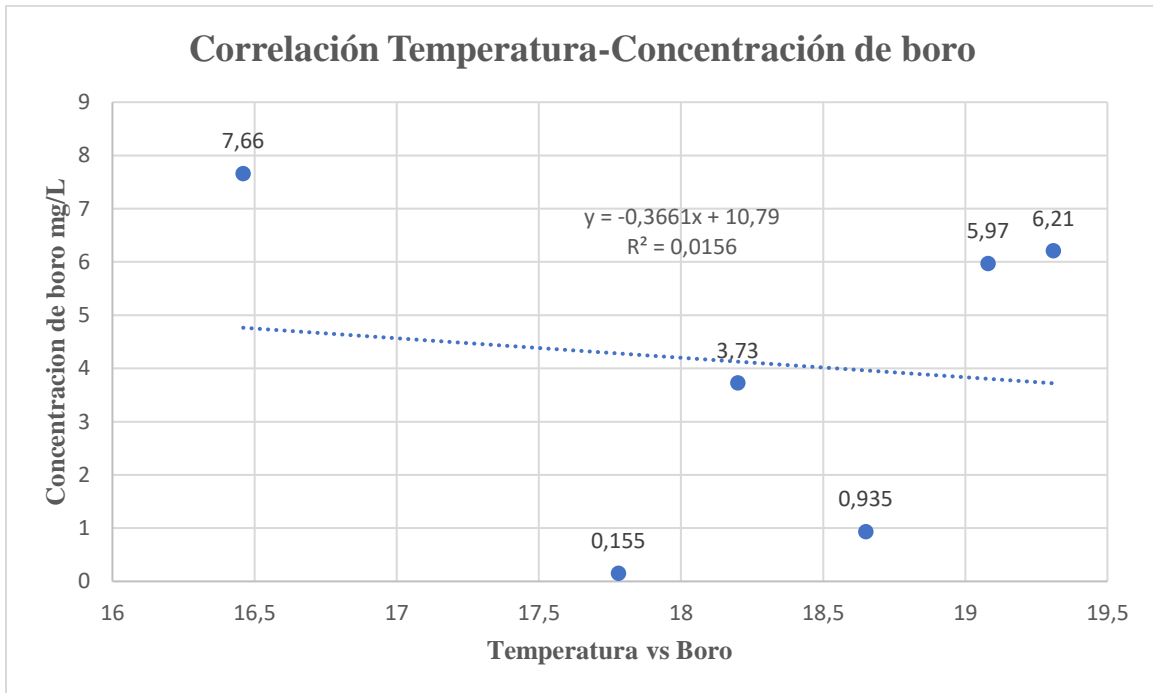


Figura 10: Relación lineal negativa débil entre Temperatura-Concentraciones de boro
Elaborado por: Autor

La correlación (Conductividad vs Concentración de boro) es positiva moderada (0.596) indica que aguas con mayor conductividad tienden a tener mayores niveles de boro. Esto sugiere que el boro podría estar asociado con la mineralización general del agua[48]. El coeficiente de determinación da como resultado que aproximadamente el 35.5% de la variación de las concentraciones de boro se deben a cambios que tenga la conductividad eléctrica del agua representado en la Figura 11.

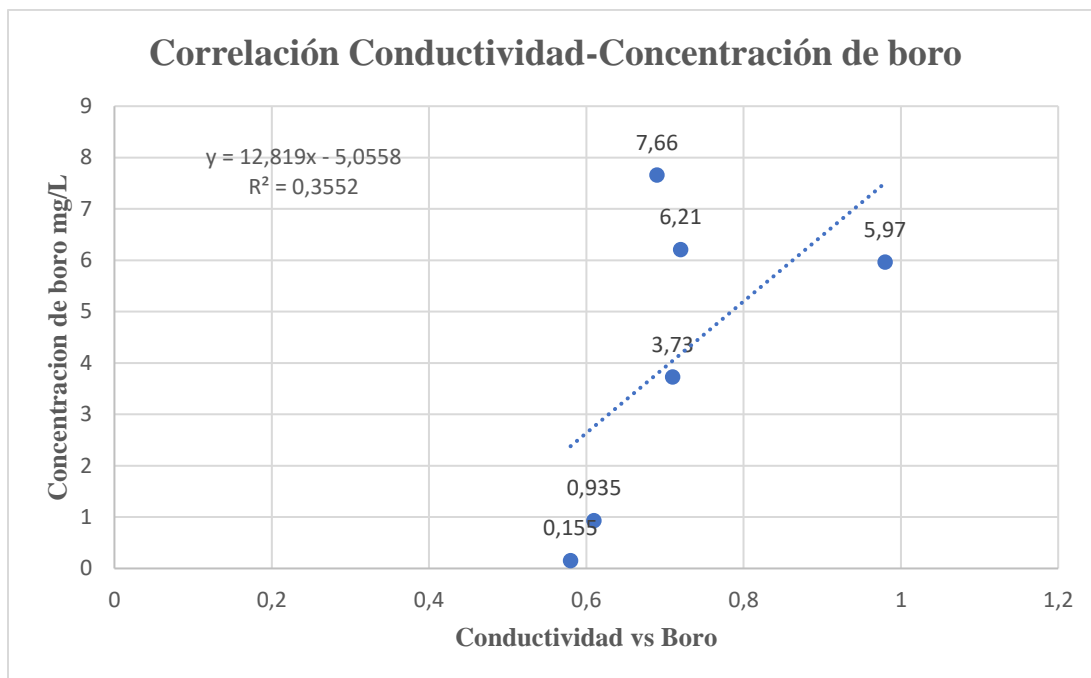


Figura 11: Relación lineal negativa débil entre Temperatura-Concentraciones de boro
Elaborado por: Autor

4.3.2. Comparación de los resultados de boro con las normativas vigentes para el cálculo del índice de calidad de agua para metales pesados (HPI)

Para la preservación de flora y fauna existe un riesgo potencian en los tres ríos siendo que estos sobrepasan por mucho los límites de concentraciones de boro impidiendo que haya vida acuática. Y al presenciar cómo se encontraban los ríos se puede indicar que los valores analizados con la observación en los ríos son verídicos, ya que, como se puede ver en las Figuras no existe vida acuática.



Figura 12: Punto CU06 sin presencia de vida acuática



Figura 13: Punto de muestreo PU10 sin presencia acuática

Para el uso agrícola, el exceso en los ríos es muy evidente afectando los cultivos en la hora del riego en las plantaciones reduciendo la producción agrícola deteriorando la calidad de los cultivos o también puede ser el exceso de uso de fertilizantes que por lixiviación afecten a las aguas lixiviadas y que el agua tenga más concentraciones de boro.

En base a los resultados obtenidos de las muestras se observa los altos contenidos que tiene el boro en comparación a los límites permisibles, lo que puede afectar en la agricultura de la población de Cotopaxi y más a los cultivos de brócoli que tiene una gran producción en la provincia, siendo este moderadamente sensible al boro con una tolerancia entre 1-2mg/L[49], reduciendo significativamente la producción, deteriorando la calidad del producto y por los valores excesivamente altos se podrían presentar pérdidas de cultivos y con esto afectando a la economía de las empresas. Los fertilizantes más utilizados para cultivos agrícolas que contengan boro son:

- Solubor® DF[50].
- Bórax agrícola[51].
- Aboterra[52].

El punto PU10 ubicado en la zona de San Rafael en Latacunga tiene un alto contenido de Boro afectando a las zonas agrícolas que existen y se pueden observar en la Ilustración.

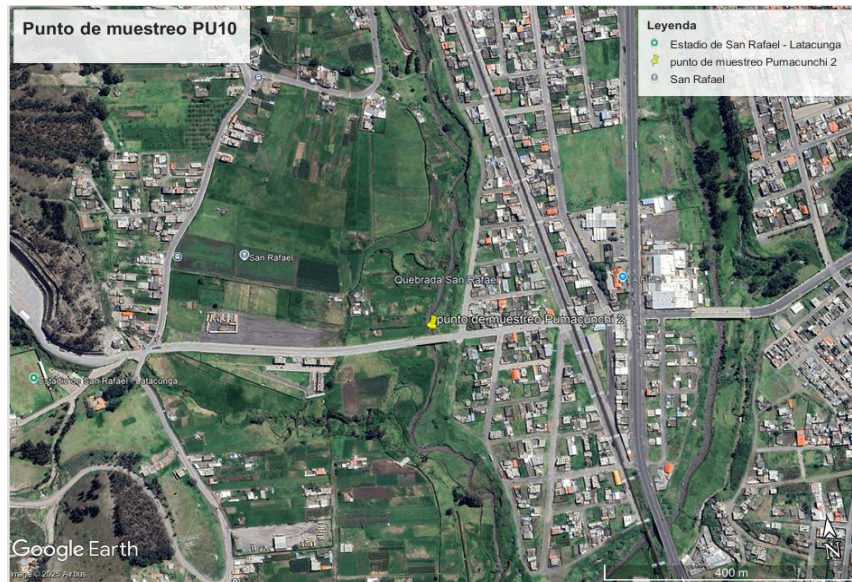


Figura 14: Presencia agrícola en el sector San Rafael recuperado de GOOGLE EARTH

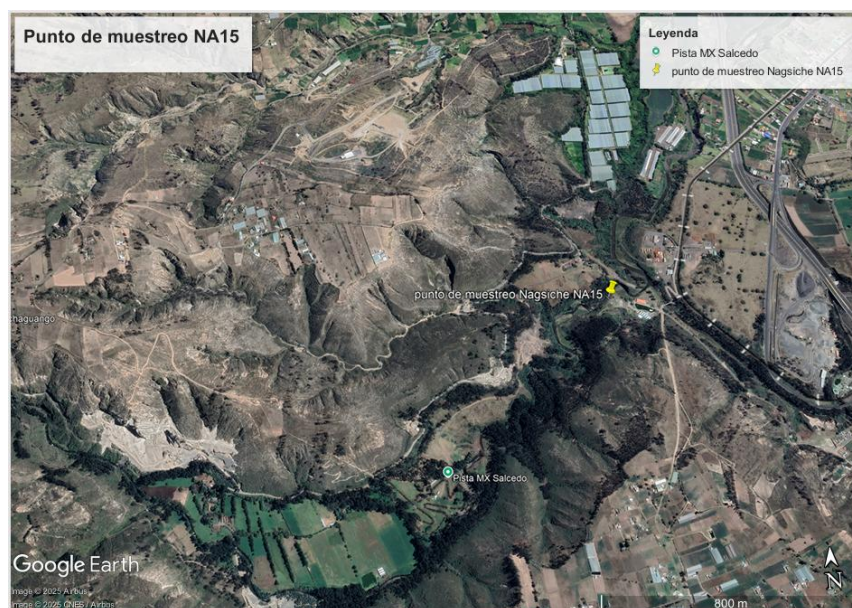


Figura 15: Presencia agrícola en el sector Cusubamba recuperado de GOOGLE EARTH



Figura 16: Presencia agrícola en el sector Cusubamba cerca de la hostería “Puñana hurku wasi” recuperado de GOOGLE EARTH

Para uso pecuario, el punto CU06 no se podría pastar animales ya que el consumo del agua afectaría la salud de los animales ocasionando bioacumulación en el ganado afectando la producción ganadera como también en los puntos del río Nagsiche.

Los ríos Cutuchi, Pumacunchi y Nagsiche afectan en la salud humana por su exponencial contenido de Boro, esto se puede evidenciar en los puntos de muestreo CU04, PU10, NA15 y NA16 y la exposición excesiva de boro por consumo el humano puede tener afectaciones en la salud afectando el estómago, hígado, intestinos, riñones y a largo plazo puede afectar a la vitalidad de las personas expuestas a este metal.

El HPI fue calculado dándonos los valores que se presencian en la Tabla 29 donde se realizó un promedio en cada uno de los puntos de muestreo en los 3 años de estudio contemplando los límites permisibles establecidos por la normativa TULSMA, donde los valores calculados son mayores a 100 en su mayoría y marcados de rojo con lo que se puede interpretar que en los puntos de muestreo existe un alto contenido de boro afectando a los ríos estudiados.

Para consumo humano, riego y para flora y fauna la calidad del agua en todos los puntos de estudio es pésima con lo que se puede interpretar que el boro puede ser perjudicial para el consumo humano, afectar a los ecosistemas acuáticos y afecta a los suelos con lo que afectaría el crecimiento de las plantas. El boro al ser un micronutriente esencial en el

crecimiento de plantas al tener altas concentraciones puede ser fitotóxico para plantaciones las cuales, al estar con altos niveles de boro pueden presentar quemaduras, posibles abscisiones de brotes jóvenes[53]. La mala calidad del agua puede llevar a la degradación de los ecosistemas acuáticos y si el agua de los ríos estudiados fuese usada como fuente de agua potable se deberían implementar sistemas que traten la reducción de altas concentraciones de boro.

Pasa uso pecuario el cálculo del índice de metales pesados establece que la calidad del agua para el uso ganadero no es mala en la mayoría de los puntos de muestreo, excepto en el punto de muestreo NA15, el cual, es crítico y es recomendable no usar el agua de río para este uso en las zonas allegadas a este punto de muestreo.

La calidad de agua para uso agrícola es mala según el índice de contaminación de metales pesados afectando a los sectores allegados a San Rafael en Latacunga y sectores cercanos a Cusubamba en Salcedo, ya que, el Punto de muestreo PU10, NA15 y NA16 tienen una mala calidad siendo los sectores cercanos a estos puntos muy afectados por la calidad del agua, también se debe a la lixiviación de suelos cercanos a los ríos ya que la implementación de fertilizantes, entre otros fungicidas en industrias agrícolas lixivian hasta llegar a los ríos[54].

4.3.3. Posibles fuentes de contaminación en cada punto de muestreo

Tras lo expuesto anteriormente se considera que las posibles fuentes de contaminación por boro en los ríos son los establecidos en la Tabla 30.

Tabla 30

Posibles fuentes de Contaminación en los distintos puntos de muestreo

Muestra	Posible fuente de Contaminación por boro
CU04	Descargas de agua sin tratar, fungicidas y fertilizantes
CU05	La contaminación en este punto es baja

CU06	Netamente por suelos volcánicos
PU10	Descargas de agua sin tratar, fungicidas y fertilizantes
NA15	Riego y uso agrícola con fertilizantes y fungicidas
NA16	Riego y uso agrícola con fertilizantes y fungicidas

ELABORADO POR: Autor

5. CONCLUSIONES DEL PROYECYO

5.1.CONCLUSIÓN

La correlación establecida entre las concentraciones de boro con los parámetros físico-químicos del agua, al correlacionar pH- concentraciones de boro existe el 70% de relación entre estas variables, siendo el pH el que más influye en las concentraciones de boro en los ríos. La segunda correlación Temperatura- concentraciones de boro la correlación es negativa y con una relación entre las dos variables del 2% lo que se interpreta que no hay una relación significativa entre estas dos variables y como correlación final entre conductividad- concentraciones de boro la correlación es alta positiva con lo que se puede determinar que aproximadamente el 35.5% de la variabilidad del boro se manifiesta por la conductividad.

Se determinó que la contaminación por boro en los ríos de Cotopaxi es mayor que en los años anteriores siendo que las concentraciones de Boro en los puntos estudiados de los ríos Cutuchi, Pumacunchi y Nagsiche sobrepasando de igual manera los límites permisibles establecidos en las normativas siendo perjudiciales para los criterios de calidad del agua requiriendo atención inmediata. La actividad más perjudicada es el riego ya que es la que más deterioro tiene en nivel general, al ser que los ríos se usan mucho para esta actividad afectando a los suelos y plantas que se cultivan con esto disminuyendo la producción y afectando a los pobladores que se dedican a esta actividad.

Mediante el cálculo del Índice de Contaminación de Metales pesados HPI se determinó que la calidad del agua es deficiente y preocupante. Los valores calculados en promedio dan que para cualquier uso dado del agua el Índice HPI supera a 100 dejando a saber que la contaminación por boro es muy alta en los ríos estudiados. El deterioro de ecosistemas acuáticos en los ríos estudiados es evidente y las entidades gubernamentales deben actuar para que no se sigan deteriorando los ecosistemas en la provincia.

El análisis dio como resultado que el punto CU06 tiene un alto contenido de boro, esto debido al encontrarse a las faldas del volcán Ilinizas y gracias a la georeferenciación se puede decir que es por suelos volcánicas ya que el punto se encuentra en un área donde la geología tiene lutitas y calizas volcanoclásticas y los demás puntos de muestreo la contaminación se debe a el riego y el uso de fertilizantes como el bórax agrícola entre otros fertilizantes a plantaciones que por lixiviación llega a los ríos y por las descargas de agua residual e industrial que no tienen tratamiento para metales pesados. De ahí los demás puntos de muestreo que tienen contaminación es por falta de tratamiento a las aguas residuales e industriales y por el uso de fertilizantes como el bórax en el uso agrícola.

5.2.RECOMENDACIONES

- Las entidades gubernamentales, en colaboración de la universidad Técnica de Cotopaxi y organizaciones ambientales deben realizar una gestión inmediata con la implementación de sistemas de monitoreo continuo e identificar las fuentes principales de contaminación. Con la implementación de tecnologías como sensores remotos y sistemas de información geológica (SIG) para el mapeo de las fuentes de contaminación.
- Fomentar a industrias y a empresas agriculturas el control en las descargas implementando sistemas de tratamiento residual eficientes y también establecer sanciones por incumplimiento.
- La mala calidad del agua de los ríos requiere atención urgente de parte de las autoridades para una mejor gestión del agua, implementando soluciones efectivas para garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico.

- La Prefectura de Cotopaxi debe implementar programas sociales fomentando la educación sobre el uso responsable de agua, capacitaciones a agricultores de buenas prácticas.
- A los encargados del Plan Maestro de Alcantarillado se recomienda la utilización de mecanismos de tratamiento que funcionen contra metales pesados, puesto que, como se observó en el proyecto de investigación las concentraciones de boro son muy altas y necesitan de tratamientos para contrarrestar los altos índices de la calidad del agua.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. P. Micklin, "Man and the water cycle: Challenges for the 21st century", *GeoJournal*, vol. 39, núm. 3, pp. 285–298, 1996, doi: 10.1007/BF00188375/METRICS.
- [2] K. Simbaña-Farinango, D. Romero-Estévez, G. Yáñez-Jácome, D. Benavides, y H. Navarrete, "Evaluación de la calidad del agua del río Pita (Ecuador), implicación para la conservación de la vida acuática y silvestre", *infoANALÍTICA*, vol. 7, núm. 2, pp. 71–93, jul. 2019, doi: 10.26807/IA.V7I2.104.
- [3] R. C. Delgado, M. Fernanda, E. Garcés, y E. S. Charvet, *Guía de bienes culturales-COTOPAXI*, Ediecuatorial. Quito, 2011. Consultado: el 22 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://downloads.arqueo-ecuatoriana.ec/ayhpwxgv/noticias/publicaciones/INPC-X-GuiaCotopaxi.pdf>
- [4] Gobierno de Bélgica, "Proyecto Piloto", jul. 2001, Consultado: el 14 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/5988/1/PITOLO_RIO_CUTUCHI.pdf
- [5] "MAE ejecuta Plan de Descontaminación del Río Cutuchi – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica". Consultado: el 14 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/mae-ejecuta-plan-de-descontaminacion-del-rio-cutuchi/>
- [6] Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial, "Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cotopaxi 2025", jul. 2018.
- [7] S. Bolan *et al.*, "Boron contamination and its risk management in terrestrial and aquatic environmental settings", *Science of The Total Environment*, vol. 894, p. 164744, oct. 2023, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2023.164744.
- [8] M. A. R. Guevara, Y. V. M. Cepeda, B. D. C. Jiménez, B. J. C. Sangucho, y A. Y. J. Lugmaña, "El río Cutuchi, contaminante que fluye en nuestra sociedad y la afecta", *RECIMUNDO*, vol. 8, núm. Especial, pp. 51–60, oct. 2024, doi: 10.26820/recimundo/8.(especial).octubre.2024.51-60.
- [9] Prefectura de Cotopaxi, "Prefectura", jul. 2023.
- [10] Presidencia de la República, "NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES : RECURSO AGUA", 2015.
- [11] Prefectura de Cotopaxi, "Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cotopaxi 2025", Latacunga, jul. 2018.
- [12] S. Rodríguez, S. Jaramillo, D. Zurita, A. Valdiviezo, y C. Choloquina, "Evaluation of the Quality of Irrigation Water from the Tilipulo Enríquez-Cotopaxi Acequia Through the Sodium Absorption Ratio (SAR)", *Revista Politecnica*, vol. 49, núm. 2, pp. 55–64, may 2022, doi: 10.33333/rp.vol49n2.06.
- [13] P. Walter, "Controversias sobre el origen de la contaminación por boro (B) subcuenca del río Calchaquí, Provincia Salta, Argentina Controversies at the origin of boron contamination, Sub-basin of the Calchaquí River, Salta province. Argentina", jun. 2020. Consultado: el 23 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v38n2/0718-3429-idesia-38-02-31.pdf>
- [14] M. A. Velázquez, J. L. Pimentel, y M. Ortega, "ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN DE BORO EN FUENTES DE AGUA DE LA CUENCA DEL RÍO DUERO, MÉXICO, UTILIZANDO ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIADO", *SCIELO*, pp. 5–7, 2011, Consultado: el 23 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rca/v27n1/v27n1a2.pdf>

- [1] P. P. Micklin, "Man and the water cycle: Challenges for the 21st century", *GeoJournal*, vol. 39, núm. 3, pp. 285–298, 1996, doi: 10.1007/BF00188375/METRICS.
- [2] K. Simbaña-Farinango, D. Romero-Estévez, G. Yáñez-Jácome, D. Benavides, y H. Navarrete, "Evaluación de la calidad del agua del río Pita (Ecuador), implicación para la conservación de la vida acuática y silvestre", *infoANALÍTICA*, vol. 7, núm. 2, pp. 71–93, jul. 2019, doi: 10.26807/IA.V7I2.104.
- [3] R. C. Delgado, M. Fernanda, E. Garcés, y E. S. Charvet, *Guía de bienes culturales-COTOPAXI*, Ediecuatorial. Quito, 2011. Consultado: el 22 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://downloads.arqueo-ecuatoriana.ec/ayhpwxgv/noticias/publicaciones/INPC-X-GuiaCotopaxi.pdf>
- [4] Gobierno de Bélgica, "Proyecto Piloto", jul. 2001, Consultado: el 14 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/5988/1/PITOLO_RIO_CUTUCHI.pdf
- [5] "MAE ejecuta Plan de Descontaminación del Río Cutuchi – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica". Consultado: el 14 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/mae-ejecuta-plan-de-descontaminacion-del-rio-cutuchi/>
- [6] Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial, "Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cotopaxi 2025", jul. 2018.
- [7] S. Bolan *et al.*, "Boron contamination and its risk management in terrestrial and aquatic environmental settings", *Science of The Total Environment*, vol. 894, p. 164744, oct. 2023, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2023.164744.
- [8] M. A. R. Guevara, Y. V. M. Cepeda, B. D. C. Jiménez, B. J. C. Sangucho, y A. Y. J. Lugmaña, "El río Cutuchi, contaminante que fluye en nuestra sociedad y la afecta", *RECIMUNDO*, vol. 8, núm. Especial, pp. 51–60, oct. 2024, doi: 10.26820/recimundo/8.(especial).octubre.2024.51-60.
- [9] Prefectura de Cotopaxi, "Prefectura", jul. 2023.
- [10] Presidencia de la República, "NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES : RECURSO AGUA", 2015.
- [11] Prefectura de Cotopaxi, "Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cotopaxi 2025", Latacunga, jul. 2018.
- [12] S. Rodríguez, S. Jaramillo, D. Zurita, A. Valdiviezo, y C. Choloquina, "Evaluation of the Quality of Irrigation Water from the Tilipulo Enríquez-Cotopaxi Acequia Through the Sodium Absorption Ratio (SAR)", *Revista Politecnica*, vol. 49, núm. 2, pp. 55–64, may 2022, doi: 10.33333/rp.vol49n2.06.

- [13] P. Walter, “Controversias sobre el origen de la contaminación por boro (B). subcuenca del río Calchaquí, Provincia Salta, Argentina Controversies at the origin of boron contamination, Sub-basin of the Calchaquí River, Salta province. Argentina”, jun. 2020. Consultado: el 23 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v38n2/0718-3429-idesia-38-02-31.pdf>
- [14] M. A. Velázquez, J. L. Pimentel, y M. Ortega, “ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN DE BORO EN FUENTES DE AGUA DE LA CUENCA DEL RÍO DUERO, MÉXICO, UTILIZANDO ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIADO”, *SCIELO*, pp. 5–7, 2011, Consultado: el 23 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v27n1/v27n1a2.pdf>
- [15] OMS, “Guías para la calidad del agua potable Addendum al volumen 1 Recomendaciones Organización Mundial de la Salud Ginebra”, Ginebra, 1999.
- [16] J. J. Ordoñez, “‘Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral del Recurso Hídrico’ ¿QUÉ ES CUENCA HIDROLÓGICA?”, Lima, 2011. Consultado: el 18 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf
- [17] E. M. Carrillo M., “DISEÑO DEL MODELO DIDÁCTICO PARA EL ANÁLISIS DEL FLUJO EN CANALES CON FONDO MÓVIL Y SOCAVACIÓN EN CAUCES NATURALES”, Quito, nov. 2010. Consultado: el 20 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2613/1/CD-3293.pdf>
- [18] L. Donoso y L. Zambrano I., “‘CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA Y MORFOLÓGICA DE LA MICROCUENCA ‘LA MINA’ QUE ALIMENTA AL EMBALSE LA ESPERANZA’”, Portoviejo, sep. 2018.
- [19] CODELCO, “LIXIVIACIÓN ‘El riego’”, 2018. Consultado: el 7 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/artic/20190109/asocfile/2019010905316/lixiviacion_media_t_cnico_080119.pdf
- [20] Universidad Politécnica de Cartagena, “ANÁLISIS DE AGUAS ”, 2016. Consultado: el 19 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.upct.es/~minaees/analisis_aguas.pdf
- [21] E. Posada, D. Mojica, N. Pino, C. Bustamante, y A. Monzón Pineda, “ESTABLECIMIENTO DE ÍNDICES DE CALIDAD AMBIENTAL DE RÍOS CON BASES EN EL COMPORTAMIENTO DEL OXÍGENO DISUELTO Y DE LA TEMPERATURA. APLICACIÓN AL CASO DEL RÍO MEDELLÍN, EN EL VALLE DE ABURRÁ EN COLOMBIA”, *Dyna (Medellin)*, vol. 80, núm. septiembre-octubre, pp. 4–5, oct. 2013, Consultado: el 19 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/496/49628728021.pdf>
- [22] N. B. Hinojoza C., “T-UCE-0012-FIG-044 calidad agua”, sep. 2018.

- [23] G. Pauta *et al.*, “Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador”, *MASKANA*, vol. 10, núm. 2, pp. 76–88, dic. 2019, doi: 10.18537/maskn.10.02.08.
- [24] C. Chávez Vallarino, “DETECCIÓN DE METALES PESADOS EN AGUA”, PUEBLA, sep. 2011.
- [25] E. Custodio, L. Cendela, y R. Fernández, “JORNADAS SOBRE ANALISIS Y EVOLUCION DE LA”, Barcelona, oct. 1981. Consultado: el 17 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/394276>
- [26] F. C. Cosme Rivera, “UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN”, Lima, 2021. Consultado: el 18 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5974>
- [27] S. Bolan *et al.*, “Boron contamination and its risk management in terrestrial and aquatic environmental settings”, el 10 de octubre de 2023, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.164744.
- [28] “ToxFAQsTM: Boro (Boron) | ToxFAQ | ATSDR”. Consultado: el 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts26.html
- [29] S. Bhagyaraj, M. A. Al-Ghouti, P. Kasak, y I. Krupa, “An updated review on boron removal from water through adsorption processes”, *Emergent Mater*, vol. 4, núm. 5, pp. 1167–1186, oct. 2021, doi: 10.1007/S42247-021-00197-3/FIGURES/12.
- [30] Asamblea Nacional Constituyente de Ecuador, “CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR”, 2008. [En línea]. Disponible en: www.lexis.com.ec
- [31] Agencia de Regulación y Control del Agua, “INFORME RENDICIÓN DE CUENTAS PERÍODO 2022”, Quito, 2022.
- [32] A. y T. E. Ministerio del Ambiente, “PLAN-ESTRATEGICO-INSTITUCIONAL”, 2021.
- [33] M. E. Cortés C. y M. Iglesias L., “Generalidades sobre Metodología de la Investigación”, Campeche, 2004.
- [34] C. A. Ramos Galarza, “Alcances de una investigación”, *CienciAmérica*, vol. 9, núm. 3, pp. 1–6, oct. 2020, doi: 10.33210/ca.v9i3.336.
- [35] “COTOPAXI - Instituto Geofísico - EPN”. Consultado: el 14 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.igepn.edu.ec/cotopaxi>
- [36] D. M. Castro V., “CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO CUTUCHI”, Quito, sep. 2022.
- [37] M. Litherland y J. A. Aspden, “Terrane-boundary reactivation: A control on the evolution of the Northern Andes”, *J South Am Earth Sci*, vol. 5, núm. 1, pp. 71–76, ene. 1992, doi: 10.1016/0895-9811(92)90060-C.

- [38] J. A. Cajas, A. Córdova-Mosquera, y J. E. Chavarría Párraga, “CALIDAD DE AGUA EN RÍO CUTUCHI MEDIANTE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS, LATACUNGA, ECUADOR”, dic. 2023. doi: https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v14i2.413.
- [39] S. Y. Del Pozo Panata y L. M. López Panchi, “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO PUMACUNCHI, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO 2022.”, ago. 2022. Consultado: el 8 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/64791ac0-0f2a-47c9-ab0d-619554a67f11/content>
- [40] GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO PARROQUIAL RURAL DE CUSUBAMBA, “pdyot_cusubamba”, 2020, Consultado: el 14 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://gadcolonche.gob.ec/media/gobiernocusubamba/pdot_archivos/pdyot_cusubamba.pdf
- [41] EPA, “METHOD 3005A ACID DIGESTION OF WATERS FOR TOTAL RECOVERABLE OR DISSOLVED METALS FOR ANALYSIS BY FLAA OR ICP SPECTROSCOPY”, 1992.
- [42] EPA, “6010b”, 1996.
- [43] U. Epa y R. Management Division, “Analytical Methods Recommended for Drinking Water Compliance Monitoring of Secondary Contaminants Method Organization Reference Title Date EPA Publication Number Source of Method 200.5, Rev. 4.2 EPA Determination of Trace Elements in Drinking Water by Axially Viewed Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry”, 2024.
- [44] G. Fiallos, “La Correlación de Pearson y el proceso de regresión por el Método de Mínimos Cuadrados”, *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 5, núm. 3, pp. 2491–2509, jun. 2021, doi: 10.37811/cl_rcm.v5i3.466.
- [45] R. Uribe Cadena, Y. Sánchez Torres, y M. A. García Marqués, “Análisis de Correlación”.
- [46] D. Hartiningsih, S. Diana, Y. MS, M. R. Ismail, y Q. W. Sari, “Water quality pollution indices to assess the heavy metal contamination: A case study of the estuarine waters in Cirebon City (West Java, Indonesia) Pre- and post- CARE COVID-19”, *Environmental and Sustainability Indicators*, vol. 21, p. 100318, feb. 2024, doi: 10.1016/J.INDIC.2023.100318.
- [47] L. C. Collaguazo Carrera, “CÁLCULO DEL ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA CON PYTHON EN CUERPOS DE AGUA SUPERFICIAL LÓTICOS, IMPACTADOS POR ACTIVIDADES HUMANAS.”, mar. 2023.
- [48] M. F. Gazulla, M. P. Gómez, M. Orduña, y G. Silva, “Caracterización química, mineralógica y térmica de boratos naturales y sintéticos”.
- [49] “Tolerancia al boro en los cultivos: USDA ARS”. Consultado: el 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.ars.usda.gov/pacific-west-area/riverside->

ca/agricultural-water-efficiency-and-salinity-research-unit/docs/databases/boron-tolerance-of-crops/

- [50] “Solubor® DF | COMPO EXPERT”. Consultado: el 17 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.compo-expert.com/es-ES/productos/solubor-df>
- [51] “Bórax | AEFA - Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes”. Consultado: el 17 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://aefa-agronutrientes.org/borax>
- [52] “NPK ABOTERRA 15-5-30 + 4S + 1MgO + Zn + B - Agroesa - Desde 1996 cuidando y nutriendo tus cultivos”. Consultado: el 17 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://agroesa.com/soluciones/npk-aboterra-15-5-30-4s-1mgo-zn-b/>
- [53] “Toxicidad por Boro Parte I: Síntomas y Diagnóstico”. Consultado: el 22 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/Toxicidad_por_Boro_parte1.pdf
- [54] N. Darwish, V. Kpchkodan, y N. Hilal, “(PDF) THE CHEMISTRY OF BORON IN WATER”. Consultado: el 22 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/295858025_THE_CHEMISTRY_OF_BORON_IN_WATER

7. ANEXOS



Anexo 1: Caminata al punto CU06 cerca de los Ilinizas



Anexo 2: Primer punto de muestreo en las faldas de los Ilinizas



Anexo 3: Toma de muestras en el punto CU06



Anexo 4: Toma de muestras en el Punto de muestreo CU04



Anexo 5: Llegada al punto de muestreo PU10



Anexo 6: Toma de muestras del punto PU10



Anexo 7: Presencia de basura causante de altas concentraciones de Boro



Anexo 8: Presencia de ganado en el punto PU10 que puede tener problemas de salud al ingerir agua contaminada de Boro



Anexo 9: Toma de muestras en el punto CU05



Anexo 10: Filtrado de agua para no tener presencia de sólidos suspendidos o sedimentos en el agua para algún cambio en los resultados



Anexo 11:Proceso de Filtrado en las muestras NA15 y Na16



Anexo 12: Equipo de trabajo para a toma de muestras

INFORME DE RESULTADOS

INF.DIV-FQ.107265a

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	BYRON CANDÓ
Dirección:	EDEN DE VALLE
Teléfono:	09998306853

DATOS DE LA MUESTRA

Descripción:	Byron Candó Río Cutuchi 01 / conservantes ácido nítrico (9:40 am)		
Lote:	---	Contenido declarado:	1 L
Fecha de elaboración:	---	Fecha de vencimiento:	---
Fecha de recepción:	2024/12/13	Hora de recepción:	17:10:18
Fecha de análisis:	2024/12/17	Fecha de emisión:	2025/01/06
Material de envase:	---		
Toma de muestra realizada por:	El cliente		
Procedencia de los datos:	Los resultados reportados en el presente informe se refieren a los datos y a las muestras entregadas por el cliente a nuestro laboratorio.		

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Color:	Característico	Olor:	Característico
Estado:	Líquido	Conservación:	Ambiente
Temperatura de la muestra:	Ambiente		

RESULTADO FÍSICOQUÍMICO

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	METODO INTERNO	MÉTODO DE REFERENCIA
¹¹² Boro	7.66	mg/L	MFQ-197	EPA 3005 A. Rev. 01, 1992, EPA 6010B, December 1996, SM, Ed. 24, 2023, 3120B / Espectro UV/VIS

Nota 1: ¹¹² Ensayo Subcontratado por N° SAE LEN-05-005, acreditado para la actividad.

Se prohíbe la reproducción del presente informe de resultados, excepto en su totalidad previa autorización escrita de Multianalityca S.A.

El Tiempo de Retención de las Muestras en el Laboratorio para ensayos Físico-Químicos e Instrumentales partir de la fecha de ingreso será de 15 días calendario para muestras perecibles, 30 días calendario para muestras medianamente perecibles y estables. Muestras para ensayos microbiológicos será de 5 días laborables para muestras perecibles, 10 días laborables para muestras medianamente perecibles y estables a partir de la fecha de análisis. Posterior a este tiempo, el laboratorio no podrá realizar reensayos para verificación de datos o valores no conformes por parte del cliente.

Toda la información relacionada con datos del cliente e ítems de ensayo (muestras) y que pueda afectar a la validez de los resultados, ha sido proporcionada y son responsabilidad exclusiva del cliente. El laboratorio se responsabiliza únicamente de los resultados emitidos los cuales corresponden a la muestra analizada y descrita en el presente documento.

El laboratorio declina toda responsabilidad, acerca de desvíos encontrados en las muestras entregadas por el cliente y que pueden afectar a la validez de los resultados, particular que es comunicado al cliente en caso de ser detectado por el laboratorio.

El tiempo de almacenamiento de los informes de resultados y toda la información técnica relacionada al mismo para dar trazabilidad será de 5 años a partir de su fecha de emisión. (Punto 8.4.2 CR GA01 Criterios Generales Acreditación de Laboratorios de Ensayo y Calibración según NTE INEN- ISO/IEC 17025:2018).



Quim. Mercedes Parra
Jefe División Físico Químico - Instrumental



JORGE ERAZO N50-109 Y CRISTOBAL SANDOVAL - EL PINAR - QUITO - PICHINCHA - ECUADOR
(02) 330 0247, 330 0674, 095 885 0928, 099 428 8140 / informes@multianalityca.com

Anexo 13: Resultados de laboratorio del punto de muestreo CU04

INFORME DE RESULTADOS

INF.DIV-FQ.107265b

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	BYRON CANDO
Dirección:	EDEN DE VALLE
Teléfono:	09998306853

DATOS DE LA MUESTRA

Descripción:	Byron Cando Rio Cutuchi 02 / conservantes ácido nítrico (6:25 am)		
Lote:	-----	Contenido declarado:	1 L
Fecha de elaboración:	---	Fecha de vencimiento:	---
Fecha de recepción:	2024/12/13	Hora de recepción:	17:10:18
Fecha de análisis:	2024/12/17	Fecha de emisión:	2025/01/06
Material de envase:	---		
Toma de muestra realizada por:	El cliente		
Procedencia de los datos:	Los resultados reportados en el presente informe se refieren a los datos y a las muestras entregadas por el cliente a nuestro laboratorio.		

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Color:	Característico	Olor:	Característico
Estado:	Líquido	Conservación:	Ambiente
Temperatura de la muestra:	Ambiente		

RESULTADO FÍSICOQUÍMICO

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO INTERNO	MÉTODO DE REFERENCIA
¹² Boro	0.155	mg/L	MFQ-197	EPA 3005 A. Rev. 01, 1992, EPA 6010B, December 1996, SM, Ed. 24, 2023, 3120B / Espectro UV/VIS

Nota 1: ¹²Boro Ensayo Subcontratado por N° SAE LEN-05-005, acreditado para la actividad.

Se prohíbe la reproducción del presente informe de resultados, excepto en su totalidad previa autorización escrita de Multianalityca S.A.

El Tiempo de Retención de las Muestras en el Laboratorio para ensayos Físico-Químicos e Instrumentales partir de la fecha de ingreso será de 15 días calendario para muestras perecibles, 30 días calendario para muestras medianamente perecibles y estables. Muestras para ensayos microbiológicos será de 5 días laborables para muestras perecibles, 10 días laborables para muestras medianamente perecibles y estables a partir de la fecha de análisis. Posterior a este tiempo, el laboratorio no podrá realizar reensayos para verificación de datos o valores no conformes por parte del cliente.

Toda la información relacionada con datos del cliente e ítems de ensayo (muestras) y que pueda afectar a la validez de los resultados, ha sido proporcionada y son responsabilidad exclusiva del cliente. El laboratorio se responsabiliza únicamente de los resultados emitidos los cuales corresponden a la muestra analizada y descrita en el presente documento.

El laboratorio declina toda responsabilidad, acerca de desvíos encontrados en las muestras entregadas por el cliente y que pueden afectar a la validez de los resultados, particular que es comunicado al cliente en caso de ser detectado por el laboratorio.

El tiempo de almacenamiento de los informes de resultados y toda la información técnica relacionada al mismo para dar trazabilidad será de 5 años a partir de su fecha de emisión. (Punto 8.4.2 CR GA01 Criterios Generales Acreditación de Laboratorios de Ensayo y Calibración según NTE INEN- ISO/IEC 17025:2018).



Quim. Mercedes Parra
Jefe División Físico Químico -
Instrumental



JORGE ERAZO N50-109 Y CRISTOBAL SANDOVAL - EL PINAR - QUITO - PICHINCHA - ECUADOR
(02) 330 0247, 330 0674, 095 885 0928, 099 428 8140 / informes@multianalityca.com

Desarrollado por MultySoft. Página 1/1

RFQ-7.8-01 / Edición RG: 12

Anexo 14: Resultados de laboratorio del punto de muestreo CU05

INFORME DE RESULTADOS

INF.DIV-FQ.107265c

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	BYRON CANDO
Dirección:	EDEN DE VALLE
Teléfono:	09998306853

DATOS DE LA MUESTRA

Descripción:	Byron Cando Rio Cutuchi 03 / conservantes ácido nítrico (3:50pm)		
Lote:	---	Contenido declarado:	1 L
Fecha de elaboración:	---	Fecha de vencimiento:	---
Fecha de recepción:	2024/12/13	Hora de recepción:	17:10:18
Fecha de análisis:	2024/12/17	Fecha de emisión:	2025/01/06
Material de envase:	---		
Toma de muestra realizada por:	El cliente		
Procedencia de los datos:	Los resultados reportados en el presente informe se refieren a los datos y a las muestras entregadas por el cliente a nuestro laboratorio.		

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Color:	Característico	Olor:	Característico
Estado:	Líquido	Conservación:	Ambiente
Temperatura de la muestra:	Ambiente		

RESULTADO FÍSICOQUÍMICO

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO INTERNO	MÉTODO DE REFERENCIA
¹² Boro	0.935	mg/L	MFQ-197	EPA 3005 A. Rev. 01, 1992, EPA 6010B, December 1996, SM, Ed. 24, 2023, 3120B / Espectro UV/VIS

Nota 1: ¹²B ensayo Subcontratado por N° SAE LEN-05-005, acreditado para la actividad.

Se prohíbe la reproducción del presente informe de resultados, excepto en su totalidad previa autorización escrita de Multianalityca S.A. El Tiempo de Retención de las Muestras en el Laboratorio para ensayos Físico-Químicos e Instrumentales partir de la fecha de ingreso será de 15 días calendario para muestras perecibles, 30 días calendario para muestras medianamente perecibles y estables. Muestras para ensayos microbiológicos será de 5 días laborables para muestras perecibles, 10 días laborables para muestras medianamente perecibles y estables a partir de la fecha de análisis. Posterior a este tiempo, el laboratorio no podrá realizar reensayos para verificación de datos o valores no conformes por parte del cliente.

Toda la información relacionada con datos del cliente e ítems de ensayo (muestras) y que pueda afectar a la validez de los resultados, ha sido proporcionada y son responsabilidad exclusiva del cliente. El laboratorio se responsabiliza únicamente de los resultados emitidos los cuales corresponden a la muestra analizada y descrita en el presente documento.

El laboratorio declina toda responsabilidad, acerca de desvíos encontrados en las muestras entregadas por el cliente y que pueden afectar a la validez de los resultados, particular que es comunicado al cliente en caso de ser detectado por el laboratorio.

El tiempo de almacenamiento de los Informes de resultados y toda la información técnica relacionada al mismo para dar trazabilidad será de 5 años a partir de su fecha de emisión. (Punto 8.4.2 CR GA01 Criterios Generales Acreditación de Laboratorios de Ensayo y Calibración según NTE INEN- ISO/IEC 17025:2018).



Quim. Mercedes Parra
Jefe División Físico Químico - Instrumental



JORGE ERAZO N50-109 Y CRISTOBAL SANDOVAL - EL PINAR - QUITO - PICHINCHA - ECUADOR
(02) 330 0247, 330 0674, 095 885 0928, 099 428 8140 / informes@multianalityca.com

INFORME DE RESULTADOS

INF.DIV-FQ.107265d

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	BYRON CANDÓ
Dirección:	EDEN DE VALLE
Teléfono:	09998306853

DATOS DE LA MUESTRA

Descripción:	Byron Cando Rio Pumacunchi 02 / conservantes ácido nítrico (5:25 pm)		
Lote:	---	Contenido declarado:	1 L
Fecha de elaboración:	---	Fecha de vencimiento:	---
Fecha de recepción:	2024/12/13	Hora de recepción:	17:10:18
Fecha de análisis:	2024/12/17	Fecha de emisión:	2025/01/06
Material de envase:	---		
Toma de muestra realizada por:	El cliente		
Procedencia de los datos:	Los resultados reportados en el presente informe se refieren a los datos y a las muestras entregadas por el cliente a nuestro laboratorio.		

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Color:	Característico	Olor:	Característico
Estado:	Líquido	Conservación:	Ambiente
Temperatura de la muestra:	Ambiente		

RESULTADO FÍSICOQUÍMICO

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO INTERNO	MÉTODO DE REFERENCIA
¹¹² Boro	3.73	mg/L	MFQ-197	EPA 3005 A. Rev. 01, 1992, EPA 6010B, December 1996, SM, Ed. 24, 2023, 3120B / Espectro UV/VIS

Nota 1: ¹¹²Boro Ensayo Subcontratado por N° SAE LEN-05-005, acreditado para la actividad.

Se prohíbe la reproducción del presente informe de resultados, excepto en su totalidad previa autorización escrita de Multianalytica S.A.

El Tiempo de Retención de las Muestras en el Laboratorio para ensayos Físico-Químicos e Instrumentales partir de la fecha de ingreso será de 15 días calendario para muestras perecibles, 30 días calendario para muestras medianamente perecibles y estables. Muestras para ensayos microbiológicos será de 5 días laborables para muestras perecibles, 10 días laborables para muestras medianamente perecibles y estables a partir de la fecha de análisis. Posterior a este tiempo, el laboratorio no podrá realizar reensayos para verificación de datos o valores no conformes por parte del cliente.

Toda la información relacionada con datos del cliente e ítems de ensayo (muestras) y que pueda afectar a la validez de los resultados, ha sido proporcionada y son responsabilidad exclusiva del cliente. El laboratorio se responsabiliza únicamente de los resultados emitidos los cuales corresponden a la muestra analizada y descrita en el presente documento.

El laboratorio declina toda responsabilidad, acerca de desvíos encontrados en las muestras entregadas por el cliente y que pueden afectar a la validez de los resultados, particular que es comunicado al cliente en caso de ser detectado por el laboratorio.

El tiempo de almacenamiento de los informes de resultados y toda la información técnica relacionada al mismo para dar trazabilidad será de 5 años a partir de su fecha de emisión. (Punto 8.4.2 CR GA01 Criterios Generales Acreditación de Laboratorios de Ensayo y Calibración según NTE INEN- ISO/IEC 17025:2018).



Quím. Mercedes Parra
Jefe División Físico Químico -
Instrumental



INFORME DE RESULTADOS

INF.DIV-FQ.107265e

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	BYRON CANDO
Dirección:	EDEN DE VALLE
Teléfono:	09998306853

DATOS DE LA MUESTRA

Descripción:	Byron Cando Rio Masigche 01 / conservantes ácido nítrico 7:00 pm)		
Lote:	-----	Contenido declarado:	1 L
Fecha de elaboración:	---	Fecha de vencimiento:	---
Fecha de recepción:	2024/12/13	Hora de recepción:	17:10:18
Fecha de análisis:	2024/12/17	Fecha de emisión:	2025/01/06
Material de envase:	---		
Toma de muestra realizada por:	El cliente		
Procedencia de los datos:	Los resultados reportados en el presente informe se refieren a los datos y a las muestras entregadas por el cliente a nuestro laboratorio.		

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Color:	Característico	Olor:	Característico
Estado:	Líquido	Conservación:	Ambiente
Temperatura de la muestra:	Ambiente		

RESULTADO FÍSICOQUÍMICO

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	METODO INTERNO	MÉTODO DE REFERENCIA
¹¹² Boro	5.97	mg/L	MFQ-197	EPA 3005 A. Rev. 01, 1992, EPA 6010B, December 1996, SM. Ed. 24, 2023, 3120B / Espectro UV/VIS

Nota 1: ¹¹² Ensayo Subcontratado por N° SAE LEN-05-005, acreditado para la actividad.

Se prohíbe la reproducción del presente informe de resultados, excepto en su totalidad previa autorización escrita de Multianalytica S.A.

El Tiempo de Retención de las Muestras en el Laboratorio para ensayos Físico-Químicos e Instrumentales partir de la fecha de ingreso será de 15 días calendario para muestras perecibles, 30 días calendario para muestras medianamente perecibles y estables. Muestras para ensayos microbiológicos será de 5 días laborables para muestras perecibles, 10 días laborables para muestras medianamente perecibles y estables a partir de la fecha de análisis. Posterior a este tiempo, el laboratorio no podrá realizar reensayos para verificación de datos o valores no conformes por parte del cliente.

Toda la información relacionada con datos del cliente e ítems de ensayo (muestras) y que pueda afectar a la validez de los resultados, ha sido proporcionada y son responsabilidad exclusiva del cliente. El laboratorio se responsabiliza únicamente de los resultados emitidos los cuales corresponden a la muestra analizada y descrita en el presente documento.

El laboratorio declina toda responsabilidad, acerca de desvíos encontrados en las muestras entregadas por el cliente y que pueden afectar a la validez de los resultados, particular que es comunicado al cliente en caso de ser detectado por el laboratorio.

El tiempo de almacenamiento de los informes de resultados y toda la información técnica relacionada al mismo para dar trazabilidad será de 5 años a partir de su fecha de emisión. (Punto 8.4.2 CR GA01 Criterios Generales Acreditación de Laboratorios de Ensayo y Calibración según NTE INEN- ISO/IEC 17025:2018).



Quim. Mercedes Parra
Jefe División Físico Químico -
Instrumental



JORGE ERAZO N50-109 Y CRISTOBAL SANDOVAL - EL PINAR - QUITO - PICHINCHA - ECUADOR
(02) 330 0247, 330 0674, 095 885 0928, 099 428 8140 / informes@multianalytica.com

INFORME DE RESULTADOS

INF.DIV-FQ.107265F

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	BYRON CANDO
Dirección:	EDEN DE VALLE
Teléfono:	09998306853

DATOS DE LA MUESTRA

Descripción:	Byron Cando Rio Masigche 02 / conservantes ácido nítrico (7:25 µm)		
Lote:	---	Contenido declarado:	1 L
Fecha de elaboración:	---	Fecha de vencimiento:	---
Fecha de recepción:	2024/12/13	Hora de recepción:	17:10:18
Fecha de análisis:	2024/12/17	Fecha de emisión:	2025/01/06
Material de envase:	---		
Toma de muestra realizada por:	El cliente		
Procedencia de los datos:	Los resultados reportados en el presente informe se refieren a los datos y a las muestras entregadas por el cliente a nuestro laboratorio.		

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Color:	Característico	Olor:	Característico
Estado:	Líquido	Conservación:	Ambiente
Temperatura de la muestra:	Ambiente		

RESULTADO FÍSICOQUÍMICO

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	METODO INTERNO	MÉTODO DE REFERENCIA
*12 Boro	6.21	mg/L	MFQ-197	EPA 3005 A. Rev. 01, 1992, EPA 6010B, December 1996, SM. Ed. 24, 2023, 3120B / Espectro UV/VIS

Nota 1: *12 Ensayo Subcontratado por N° SAE LEN-05-005, acreditado para la actividad.

Se prohíbe la reproducción del presente informe de resultados, excepto en su totalidad previa autorización escrita de Multianalityca S.A. El Tiempo de Retención de las Muestras en el Laboratorio para ensayos Físico-Químicos e Instrumentales partir de la fecha de ingreso será de 15 días calendario para muestras perecibles, 30 días calendario para muestras medianamente perecibles y estables. Muestras para ensayos microbiológicos será de 5 días laborables para muestras perecibles, 10 días laborables para muestras medianamente perecibles y estables a partir de la fecha de análisis. Posterior a este tiempo, el laboratorio no podrá realizar reensayos para verificación de datos o valores no conformes por parte del cliente.

Toda la información relacionada con datos del cliente e ítems de ensayo (muestras) y que pueda afectar a la validez de los resultados, ha sido proporcionada y son responsabilidad exclusiva del cliente. El laboratorio se responsabiliza únicamente de los resultados emitidos los cuales corresponden a la muestra analizada y descrita en el presente documento.

El laboratorio declina toda responsabilidad, acerca de desvíos encontrados en las muestras entregadas por el cliente y que pueden afectar a la validez de los resultados, particular que es comunicado al cliente en caso de ser detectado por el laboratorio.

El tiempo de almacenamiento de los informes de resultados y toda la información técnica relacionada al mismo para dar trazabilidad será de 5 años a partir de su fecha de emisión. (Punto 8.4.2 CR GA01 Criterios Generales Acreditación de Laboratorios de Ensayo y Calibración según NTE INEN- ISO/IEC 17025:2018).



Quim. Mercedes Parra
Jefe División Físico Químico -
Instrumental



JORGE ERAZO N50-109 Y CRISTOBAL SANDOVAL - EL PINAR - QUITO - PICHINCHA - ECUADOR
(02) 330 0247, 330 0674, 095 885 0928, 099 428 8140 / informes@multianalityca.com

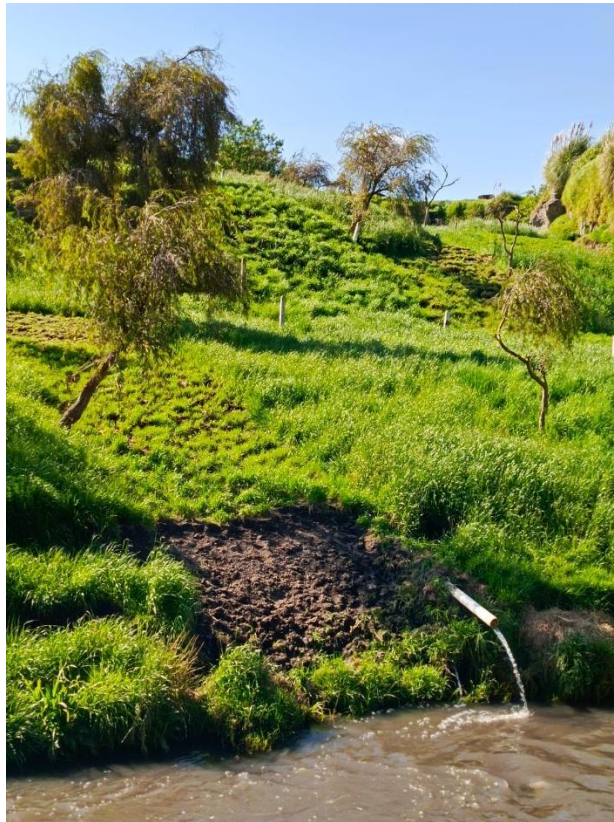
Desarrollado por MultySoft. Página 1/1

RFQ-7.8-01 / Edición RG: 12

Anexo 18: Resultados de laboratorio del punto de muestreo NA16



Anexo 19: Posible fuente de contaminación en el río Pumacunchi



Anexo 20: Posible fuente de contaminación en el río Pumacunchi



Anexo 21: Posibles fuentes de contaminación en el río Cutuchi



Anexo 22: Toma de muestras para el análisis de los parámetros físico-químicos del agua



Anexo 23: Análisis de los parámetros físico-químicos del agua