



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

Evaluación hidrogeoquímica y dinámica de la dispersión de hierro y arsénico de los ríos Cutuchi y Pumacunchi de la Provincia de Cotopaxi

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PRESENTADO PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO HIDRÁULICO

AUTOR:
Bryan David Carvajal Jiménez

TUTOR:
Msc. Marco Antonio Riofrio Guevara

Latacunga, marzo 2025

Latacunga, 25 de febrero de 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo **BRYAN DAVID CARVAJAL JIMÉNEZ** declaro ser autor (a) del proyecto de titulación **“EVALUACIÓN HIDROGEOQUÍMICA Y DINÁMICA DE LA DISPERSIÓN DE HIERRO Y ARSÉNICO DE LOS RÍOS CUTUCHI Y PUMACUNCHI DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI”**, siendo el Ing. M.s.C. **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.



Bryan David Carvajal Jiménez
CC. 0504110768

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 **BRYAN DAVID CARVAJAL JIMÉNEZ** identificado con cédula de ciudadanía No. **0504110768** 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 HIDROGEOQUÍMICA Y DINÁMICA DE LA DISPERSIÓN DE HIERRO Y ARSÉNICO DE LOS RÍOS CUTUCHI Y PUMACUNCHI 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 2022 - agosto 2022

Finalización de la carrera: octubre 2024 – marzo 2025

Aprobación en Consejo Directivo: 24 de febrero

Tutor: Ing. Marco Antonio Riofrio Guevara M.Sc

Tema: **“EVALUACIÓN HIDROGEOQUÍMICA Y DINÁMICA DE LA DISPERSIÓN DE HIERRO Y ARSÉNICO DE LOS RÍOS CUTUCHI Y PUMACUNCHI 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 d 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



.....
Bryan David Carvajal Jiménez
EL CEDENTE

.....
Ing. Idalia Pacheco Tigselema Ph.D.
LA CESIONARIA

Latacunga, febrero 24 del 2025

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“EVALUACIÓN HIDROGEOQUÍMICA Y DINÁMICA DE LA DISPERSIÓN DE HIERRO Y ARSÉNICO DE LOS RÍOS CUTUCHI Y PUMACUNCHI DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI” propuesto por el estudiante **BRYAN DAVID CARVAJAL JIMÉNEZ** de la Carrera de **INGENIERIA HIDRAULICA**, 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 MSc
CC: 01600682916
TUTOR

Latacunga, 24 de febrero del 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 HIDROGEOQUÍMICA Y DINÁMICA DE LA DISPERSIÓN DE HIERRO Y ARSÉNICO DE LOS RÍOS CUTUCHI Y PUMACUNCHI DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI”, propuesto por el estudiante **BRYAN DAVID CARVAJAL JIMÉNEZ** de la Carrera de **INGENIERÍA HIDRÁULICA**, me permito indicar que el 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 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)

Xiomara Alejandra Zambrano Navarrete

CC: 1313058453



Lector 2

Patricio Germánico Chávez Zapata

CC: 0501305668




Lector 3

Jorge Luis Villarroel Guerrero

CC: 0502943491

CERTIFICACIÓN DE INFORME DE SIMILITUD

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el tema: “Evaluación hidrogeoquímica y dinámica de la dispersión de hierro y arsénico de los ríos Cutuchi y Pumacunchi de la provincia de Cotopaxi”, de Carvajal Jiménez Bryan David, de la carrera de Ingeniería Hidráulica, remito la captura de pantalla del reporte del sistema de reconocimiento de texto turnitin, con un porcentaje de coincidencias del 6 % de similitud; y, expreso una vez más, mi conformidad en cuanto a la dirección del trabajo de titulación.



The screenshot shows a Turnitin report for a student named Bryan Carvajal Jimenez. The document title is 'TESIS CARVAJAL JIMENEZ'. The overall similarity score is 6% (6% Similitud general). The report includes a 'Filtrado desde el informe' section with 'Bibliografía' and 'Coincidencias menores (menos de 5 palabras)'. It also lists 'Exclusiones' as 'Nº de coincidencias excluidas'. The 'Fuentes principales' section shows: '6% Fuentes de Internet', '2% Publicaciones', and '7% Trabajo en progreso (trabajo del estudiante)'. The 'Marcas de integridad' section indicates 'Nº de alertas de integridad para revisión' and 'No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas'. A blue box at the bottom right contains a disclaimer: 'Los algoritmos de nuestro sistema analizan los documentos y pueden detectar similitudes no intencionales, que pueden deberse a coincidencias de palabras o frases comunes. Si cree que el sistema ha detectado un error, puede solicitar una revisión. Si necesita más información, consulte el sitio web de Turnitin. Si necesita asistencia, consulte el sitio web de Turnitin.' The 'Detalles del documento' section on the left lists: 'Identificador de la entrega: 227446888', 'Fecha de entrega: 20 Feb 2025, 14:47 pm (UTC-5)', 'Fecha de entrega: 20 Feb 2025, 14:47 pm (UTC-5)', 'Nombre de archivo: MARCO ANTONIO RIOFRIO GUEVARA, MSc.pdf', and 'Formato de archivo: PDF'.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes.

Latacunga, 26 de febrero de 2025



Ing. Marco Antonio Riofrio Guevara, MSc.
C.C.: 1600682916
TUTOR

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, por darme la fuerza, la sabiduría y sobre todo la perseverancia para poder culminar con éxito este trabajo investigativo.

A mi Alma Máter, la Universidad Técnica de Cotopaxi y a la carrera de Ingeniería Hidráulica por brindarme las herramientas y el conocimiento necesarios para mi formación profesional.

Gracias mis amigos leales, quienes han estado a mi lado en cada paso de este proceso. Juntos hemos superado desafíos, nos hemos motivado mutuamente y hemos demostrado que la verdadera amistad se basa en la unión y el compañerismo.

A mi novia, quien ha sido un pilar fundamental en este proceso, quien con su compañía atrajo amor, paciencia y apoyo incondicional.

A mi tutor, quien nos brindó su constante orientación, dedicación y paciencia durante el desarrollo de este trabajo investigativo. Su guía ha sido clave para alcanzar este logro.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento por ser parte de este logro.

Bryan Carvajal

DEDICATORIA

Con profundo amor y gratitud, dedico este trabajo a mis padres, Fausto Carvajal y Gloria Jiménez, quienes han sido mi mayor fuente de inspiración y fortaleza.

A ustedes, que siempre han estado a mi lado apoyándome en cada paso de este camino, en los momentos de alegría y en los de dificultad. Nunca dejaron de creer en mí, incluso cuando yo mismo dudé. En mis caídas, fueron sus manos las que me levantaron, su aliento el que me impulso a seguir adelante y su amor incondicional el que me dio la fuerza para no rendirme.

También dedico este logro a mis hermanos y toda mi familia que siempre estuvo al pendiente de todo mi proceso académico. Sus consejos y toda la confianza depositada en mi rindió frutos.

A todos ustedes, gracias por ser mi mayor motivación y mi motor para seguir creciendo.

Bryan Carvajal

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

Título: “Evaluación hidrogeoquímica y dinámica de la dispersión de hierro y arsénico de los ríos Cutuchi y Pumacunchi de la provincia de Cotopaxi, periodo 2024-2025”

Autor: Bryan David Carvajal Jiménez

RESUMEN

El agua es un recurso esencial que es vulnerable a prácticas inapropiadas, que generan problemas de consumo humano como de riego en la agricultura y vida acuática. La Provincia de Cotopaxi, en la cuenca del río Cutuchi y la microcuenca del río Pumacunchi, se identificó elevadas concentraciones de hierro (Fe) y arsénico (As), por medio del programa Yaupak Wasi de la prefectura de Cotopaxi, en las que se realizó monitores en el año 2022, 2023 y 2024, cuyos resultados evidencia que estos metales superan los límites permisibles establecidos según TULSMA. El objetivo de esta investigación es interpretar resultados de análisis físico-químicos de laboratorio enfocados a los metales pesados hierro y arsénico; y así correlacionarlos con la geología del tipo volcániclastica, así como el de lavas andesíticas piroclásticas de la cuenca y microcuenca focalizada. Permitiendo establecer una georreferenciación exacta de los puntos de muestreo estratégicos en la zona, para así detectar las fuentes naturales y antropogénicas de contaminación, obteniendo un análisis de correlación basado en las concentraciones de (Fe) y (As) en el agua y el suelo en los alrededores de la cuenca y microcuenca con las normativas de calidad de agua vigentes, ofreciendo información importante para una adecuada gestión de estos recursos hídricos en Cotopaxi y el desarrollo de estrategias de mitigación en las zonas afectadas. Los resultados de los monitores muestran que la concentración de (Fe) ha aumentado en el punto CUO6 con niveles que sobrepasan todos los límites permisibles con un valor de 2,93mg/L, mientras que en el punto PU10 desde el periodo 2022 al 2024 ha disminuido su concentración de (Fe), para el caso del (As) en el punto CU06 tiene un valor alto de 0,812mg/L que evidencia que la contaminación principal por este metal es debido a que en este punto hay una mayor concentración de calcio y bicarbonato, lo que podría estar ligado a una mayor interacción agua-roca que tiene procesos de disolución de carbonatos que hacen que se movilicen los metales pesados. Los hallazgos obtenidos en el presente estudio refuerzan la necesidad de continuar con muestreos para identificar patrones de contaminación y desarrollar estrategias de remediación en pro de la protección de la calidad del agua de la región.

Palabras clave: hierro, arsénico, cuenca, microcuenca, georreferenciación, antropogénicas, metales pesados.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES FACULTY

Title: “Hydrogeochemical evaluation and dynamics of iron and arsenic dispersion in the Cutuchi and Pumacunchi rivers at Cotopaxi province, period 2024-2025”.

Author: Bryan David Carvajal Jiménez

ABSTRACT

Water is an essential resource that is vulnerable to inappropriate practices, which generate problems for human consumption and irrigation in agriculture and aquatic life. In the province of Cotopaxi, in the Cutuchi river basin and the Pumacunchi river micro-basin, high concentrations of iron (Fe) and arsenic (As) were identified through the Yaupak Wasi program of the Cotopaxi prefecture, in which monitoring was carried out in the years 2022, 2023 and 2024, whose results show that these metals exceed the permissible limits established according to TULSMA. The objective of this research is to interpret the results of physical-chemical laboratory analysis focused on iron and arsenic heavy metals, and thus correlate them with the volcanoclastic geology, as well as the pyroclastic andesitic lava of the basin and micro-basin in focus. Allowing to establish an exact georeferencing of the strategic sampling points in the area, in order to detect the natural and anthropogenic sources of contamination, obtaining a correlation analysis based on the concentrations of (Fe) and (As) in water and soil in the surroundings of the basin and microbasin with the current water quality regulations, offering important information for an adequate management of these water resources in Cotopaxi and the development of mitigation strategies in the affected areas. The results of the monitoring show that the concentration of (Fe) has increased at point CU06 with levels that exceed all permissible limits with a value of 2.93mg/L, while at point PU10 from the period 2022 to 2024 the concentration of (Fe) has decreased; in the case of (As) at point CU06 it has a high value of 0, 812mg/L which evidences that the main contamination by this metal is due to the fact that at this point there is a higher concentration of calcium and bicarbonate, which could be linked to a greater water-rock interaction that has carbonate dissolution processes that cause the heavy metals to mobilize. The findings obtained in this study reinforce the necessity to continue sampling to identify contamination patterns and develop remediation strategies for the protection of water quality in the region.

Key words: iron, arsenic, basin, microbasin, georeferencing, anthropogenic, heavy metals.

ÍNDICE

INFORMACIÓN GENERAL	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. PROBLEMA	4
1.2. BENEFICIARIOS.....	4
1.3. JUSTIFICACIÓN	4
1.5. OBJETIVOS	5
1.5.1. General	5
1.5.2. Específicos	5
2. FUNDAMENTACION TEORICA	6
2.1. Antecedentes	6
2.2. Marco referencial.....	7
2.2.1. Cuenca hidrográfica.....	7
2.2.2. Componentes principales de la cuenca.....	7
2.2.3. Partes de una cuenca.....	8
2.2.4. Clasificación de las cuencas hidrográficas.	8
2.2.5. Delimitación de una cuenca hidrográfica	8
2.2.6. Softwares para delimitación de cuencas	9
2.3. Cuenca Río Cutuchi	9
2.4. Subcuenca Río Pumacunchi.....	10
2.5. Contaminación del agua.....	10
2.6. Contaminación del Río Cutuchi.....	11
2.7. Contaminación Subcuenca Río Pumacunchi	12

2.8.	Arsénico	12
2.8.1.	Arsénico en la salud.....	13
2.8.2.	Contaminación por arsénico	14
2.9.	Hierro	14
2.10.	Marco Legal	14
2.10.1.	Base Constitucional.....	14
2.10.2.	Marco Regulatorio internacional.....	15
2.10.2.1.	La Organización Mundial de la Salud (OMS)	15
2.10.2.2.	Environmental Protection Agency (EPA)	15
2.10.3.	Marco Regulatorio nacional.....	15
2.10.3.1.	ARCA	15
2.10.3.2.	MAATE.....	15
2.10.3.3.	Libro VI TULSMA Anexo 1	16
3.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS.....	16
3.1.	Metodología	16
3.2.	Esquema metodológico.....	17
3.3.	Áreas de estudio.....	18
3.3.1.	Cuenca del río Cutuchi	19
3.3.2.	Microcuenca del río Pumacunchi	20
3.4.	Datos de muestreo proporcionados por la Prefectura de Cotopaxi de la contaminación de los ríos de la provincia de Cotopaxi del periodo 2022 - 2023	21
3.5.	Programa de monitoreo de la cuenca del río Cutuchi y la microcuenca del río Pumacunchi para el periodo 2024.....	24
3.5.1.	Muestreo	24
3.5.2.	Toma y recolección de muestras.....	25

3.5.3.	Transporte y almacenamiento de las muestras al laboratorio	25
3.5.4.	Determinación de metales pesados en muestras de agua	26
3.6.	Comparación con resultados de las muestras del periodo 2022 – 2024, del río Cutuchi y Pumacunchi con los límites permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente Nacional e Internacional.....	27
3.7.	Determinación del grado de contaminación con el índice de metales pesados (HPI)	27
3.8.	Determinación de la composición iónica de agua superficial de la zona de estudio	29
4.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	31
4.1.	Datos de muestreo proporcionados por la Prefectura de Cotopaxi de la contaminación de los ríos de la provincia de Cotopaxi del periodo 2022 - 2023	31
4.2.	Programa de monitoreo de la cuenca del río Cutuchi y la microcuenca del río Pumacunchi del periodo 2024.....	34
4.3.	Determinación y comparación de la norma vigente en los resultados de los metales pesados arsénico y hierro en las muestras de agua	36
4.3.1.	Correlación para agua de consumo.....	37
4.3.2.	Correlación para preservación de flora y fauna.....	40
4.3.3.	Correlación para uso agrícola.....	43
4.4.	Determinación del grado de contaminación de los puntos de muestreo con el método HPI	49
4.5.	Evaluación hidrogeoquímica	55
4.5.1.	Diagrama de Piper.....	57
4.5.2.	Diagrama de Stiff.....	58
4.5.3.	Diagrama de Schöeller – Berkloff.....	59
4.6.	Fuentes de contaminación.....	60
4.6.1.	Contaminación natural	60

4.6.2. Fuentes de contaminación Antropogénica.....	65
5. CONCLUSIONES	66
6. RECOMENDACIONES.....	67
7. REFERENCIAS	68
8. ANEXOS	73

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las cuencas hidrográficas.	8
Tabla 2. Análisis realizados en 28 puntos de los ríos de la provincia de Cotopaxi, en 2022 y 2023.	23
Tabla 3. Requisitos de precisión establecidos en la NTE INEN 2169.....	25
Tabla 4. Calificación para el índice de metales pesados.....	29
Tabla 5. Resultados de Hierro (Fe) en el año 2022 y 2023.....	32
Tabla 6. Resultados de Arsénico (As) en el año 2022 y 2023.	33
Tabla 7. Monitoreo de la cuenca del río Cutuchi y la microcuenca del río Pumacunchi del periodo 2024 concentraciones de (Fe).....	36
Tabla 8. Monitoreo de la cuenca del río Cutuchi y la microcuenca del río Pumacunchi del periodo 2024 concentraciones de (As).	36
Tabla 9. Resultados de (Fe) en 2022.....	37
Tabla 10. Resultados de (As) en 2022.	38
Tabla 11. Resultados de (Fe) en 2023.....	38
Tabla 12. Resultados de (As) en 2023.	39
Tabla 13. Resultados de (Fe) en 2024.....	40
Tabla 14. Resultados de (As) en 2024.	40
Tabla 15. Resultados de (Fe) de la caracterización de agua durante el periodo del año 2022.	41
Tabla 16. Resultados de (As) de la caracterización de agua durante el periodo del año 2022.	41
Tabla 17. Resultados de (Fe) de la caracterización de agua durante el periodo del año 2023	42
Tabla 18. Resultados de (As) de la caracterización de agua durante el periodo del año 2023.	42
Tabla 19. Resultados de (Fe) de la caracterización de agua durante el periodo del año 2024.	43
Tabla 20. Resultados de (As) de la caracterización de agua durante el periodo del año 2024.	43

Tabla 21. Relación con los límites máximos permisibles del TULSMA y la OMS de (Fe) año 2022.	44
Tabla 22. Relación con los límites máximos permisibles del TULSMA y la OMS de (As) año 2022.	44
Tabla 23. Relación con los límites máximos permisibles del TULSMA y la OMS de (Fe) año 2023.	45
Tabla 24. Relación con los límites máximos permisibles del TULSMA y la OMS de (As) año 2023.	45
Tabla 25. Relación con los límites máximos permisibles del TULSMA de (Fe) año 2024.	46
Tabla 26. Relación con los límites máximos permisibles del TULSMA de (As) año 2024.	46
Tabla 27. Determinación del grado de contaminación con el índice de metales pesados (HPI) punto CU04.	50
Tabla 28. Determinación del grado de contaminación con el índice de metales pesados (HPI) punto CU05.	51
Tabla 29. Determinación del grado de contaminación con el índice de metales pesados (HPI) punto CU06.	52
Tabla 30. Determinación del grado de contaminación con el índice de metales pesados (HPI) punto PU09.	53
Tabla 31. Determinación del grado de contaminación con el índice de metales pesados (HPI) punto PU10.	54
Tabla 32. Grado de contaminación con el índice de metales pesados (HPI) para toda la normativa vigente Nacional del TULSMA.	55
Tabla 33. Análisis iónico de los puntos de muestreo del río Cutuchi y Pumacunchi.	56
Tabla 34. Evaluación hidrológica de la relación de la composición química de los suelos de las zonas con respecto a los datos de muestreo, obteniendo el porcentaje de lixiviación de cada punto.	63

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujograma de pasos que se siguieron para la evaluación hidrogeoquímica y dinámica de la dispersión de hierro y arsénico en los ríos Cutuchi y Pumacunchi.	17
Figura 2. Delimitación Geológica de la provincia de Cotopaxi.	19
Figura 3. Delimitación de la cuenca del río Cutuchi de la provincia de Cotopaxi, con los puntos de muestreo realizados.	20
Figura 4. Delimitación de la micro cuenca del río Pumacunchi de la provincia de Cotopaxi, con los puntos de muestreo realizados.	21
Figura 5. Georreferenciación de puntos de muestreo realizados por la Prefectura de Cotopaxi, periodo 2022-2023.	22
Figura 6. Clasificación del diagrama de Piper según Chevoratev (1995).	30
Figura 7. Histograma de resultados finales de los puntos de muestreo para el Hierro en el periodo 2022 - 2024.	47
Figura 8. Histograma de resultados finales de los puntos de muestreo del Arsénico en el periodo 2022 - 2024.	48
Figura 9. Diagrama de Piper de las muestras de agua superficial.	57
Figura 10. Diagrama de Stiff de las muestras de agua superficial	58
Figura 11. Mapa de tipo de agua de puntos de muestreo.	59
Figura 12. Diagrama de Schöeller – Berkaloff para las muestras de agua.	60
Figura 13. Concentración de hierro por la geología en los puntos de muestreo.	61
Figura 14. Concentración de hierro por la geología en los puntos de muestreo.	62
Figura 15. Contaminación antropogénica para el Arsénico (As), aguas arriba de los puntos de muestreo.	65

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Caminata al punto CU06 cerca de los Ilinizas.....	73
Anexo 2. Río Cutuchi en las faldas del Iliniza	73
Anexo 3. Toma de muestras en el punto CU06	74
Anexo 4. Toma de muestras en el Punto de muestreo CU04	74
Anexo 5. Llegada al punto de muestreo.	75
Anexo 6. Toma de muestras del punto PU10.	75
Anexo 7. Presencia de basura de altas concentraciones de Hierro y Arsénico.	76
Anexo 8. Presencia de ganado en el punto PU10 que puede tener problemas de salud al ingerir agua contaminada de Hierro y Arsénico.	76
Anexo 9. Punto de muestreo CU05.....	77
Anexo 10. Toma de muestras en el punto CU05.....	77
Anexo 11. Filtrado de agua para no tener presencia de sólidos suspendidos o sedimentos en el agua para algún cambio en los resultados.....	78
Anexo 12. Toma de muestras en el punto PU09.	78
Anexo 13. Muestras del punto PU09.....	79
Anexo 14. Equipo de trabajo para a toma de muestras.	79
Anexo 15. Informe de resultados de hierro y arsénico para el punto CU06 por parte del laboratorio Multianalityca S.A.	80
Anexo 16. Informe de resultados de arsénico para el punto CU05 por parte del laboratorio Multianalityca S.A.....	81
Anexo 17. Informe de resultados de arsénico para el punto CU04 por parte del laboratorio Multianalityca S.A.....	82
Anexo 18. Informe de resultados de arsénico para el punto pu09 por parte del laboratorio Multianalityca S.A.....	83
Anexo 19. Informe de resultados de arsénico para el punto pu10 por parte del laboratorio Multianalityca S.A.....	84
Anexo 20. Informe de resultados de hierro para el punto CU05 por parte del laboratorio Multianalityca S.A.....	85

Anexo 21. Informe de resultados de hierro para el punto CU04 por parte del laboratorio Multianalityca S.A.....	86
Anexo 22. Informe de resultados de hierro para el punto pu09 por parte del laboratorio Multianalityca S.A.....	87
Anexo 23. Informe de resultados de hierro para el punto PU10 por parte del laboratorio Multianalityca S.A.....	88

INFORMACIÓN GENERAL

Título del proyecto:

Evaluación hidrogeoquímica y dinámica de la dispersión de hierro y arsénico de los ríos Cutuchi y Pumacunchi de la provincia de Cotopaxi.

Línea de investigación:

Meteorología, hidrología, mecánica de fluidos, sistemas y obras hidráulicas.

Sublíneas de investigación de la Carrera:

Georreferenciación, toma de muestras y delimitación de las cuencas en estudio.

Lugar de ejecución:

Provincia de Cotopaxi

Facultad que auspicia:

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera:

Hidráulica

Grupo de investigación:

Bryan David Carvajal Jiménez, Msc. Marco Antonio Riofrio Guevara

Tutor:

Msc. Marco Antonio Riofrio Guevara

Investigador:

Bryan David Carvajal Jiménez

1. INTRODUCCIÓN

Siendo el agua un recurso esencial que al presente es sensible a prácticas inapropiadas que generan complicaciones de uso para consumo humano, acuático y agrícola, y esto hace que los ríos se encuentren deteriorados debido a la presencia de plantaciones, industrias, metales pesados, descargas de plaguicidas y fertilizantes, lo cual es tratado es un porcentaje reducido por las industrias. Por ende, la mayoría son directamente descargadas al río. Fruto de esta problemática, la calidad del río Cutuchi y del río Pumacunchi constituye una de las problemáticas socio ambientales relacionadas con el incremento de la contaminación de reservas hídricas. Entre los principales problemas de contaminación que afectan tanto a la cuenca del río Cutuchi como a la microcuenca del río Pumacunchi, se encuentran las industrias que descargan aguas residuales sin ningún tratamiento. Sumado a esto la mayoría del área que recorre estos ríos tiene suelos de carácter volcánico, lo que imputa a la presencia de metales pesados a las cuencas[1].

La hidrogeoquímica suele ser la rama de la hidrogeología que se encarga de estudiar propiedades de aguas subterráneas, así como la relación de aguas superficiales, permitiendo conocer las zonas de recarga y descarga de los acuíferos, las relaciones de intercambio iónico, la capacidad de almacenamiento del acuífero y la dirección del flujo subterráneo. En un estudio previo se pudo establecer una línea base de la calidad del agua del río Cutuchi y del río Pumacunchi mediante análisis físico-químicos y microbiológicos, lo que permitió determinar la calidad del agua, la identificación de zonas de carga y caracterizar sus condiciones iniciales para poder detectar posibles fuentes de contaminación[2]. A partir de estos resultados se publicó el artículo “Calidad de Agua en Río Cutuchi Mediante Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos, Latacunga, Ecuador” en el año 2023 [3], en donde se pudo documentar los niveles de contaminación en el periodo mencionado. Por ello la presente investigación amplía dicho estudio enfocándose en los metales pesados hierro y arsénico.

La contaminación de aguas subterráneas por metales pesados dentro del contorno internacional, ha mostrado que las concentraciones de metales, concretamente el hierro, puede indicar un grado de contaminación. Provocando evitar el consumo por parte de la población, debido a que los datos encontrados irradian que los niveles en algunos de los pozos muestreados sobrepasan los límites permisibles máximos. El agua de consumo con altos contenidos de hierro, aunque este sea un oligoelemento necesario para el cuerpo humano,

puede provocar una intoxicación crónica y daños a la salud humana si se consume durante un largo período de tiempo[4].

El arsénico, uno de los elementos más dominantes en el medio ambiente, se distribuye en diferentes regiones del planeta y no sólo es problemático en los niveles de las aguas superficiales sino también en aumento en las aguas subterráneas. Su origen está relacionado con factores naturales y orígenes artificiales, y existe en diversos ambientes geológicos, como estratos volcánicos, estratos sedimentarios, sistemas hidrotermales y cuencas aluviales terciarias y cuaternarias[5]. Una mayor doblez por esta contaminación recae en las comunidades en donde rigen de este líquido vital para sus actividades, como el consumo humano y de uso agrícola. Además, uno de cada diez personas bebe este líquido vital que contiene más de 0.5 mg/L de arsénico [5].

En el medio ambiente se encuentran naturalmente los metales pesados, los productos químicos que se utilizan en las granjas e industrias también pueden estar expuestos a la contaminación de metales pesados, que terminan en el aire junto con el suelo y el agua. Pueden ingresar al cuerpo de diferentes maneras: pueden ser inhalados, ingeridos o absorbidos a través de la piel. Dado que los metales pesados se encuentran en todas partes, es estereotipado tener algunos metales pesados en el cuerpo. Pero si entra demasiado metal pesado en el cuerpo, puede provocar intoxicación[6].

Los metales pesados provocan intoxicación, daño en el organismo del ser humano, cambios de comportamiento y dificultades con el pensamiento y la memoria. Los síntomas de la intoxicación por metales pesados dependen del tipo de metal, de la cantidad que esté presente en el cuerpo y de la edad. Los fetos y los bebés pueden encontrarse con un elevado riesgo de sufrir problemas de salud graves a largo plazo debido a los metales pesados. La intoxicación puede ocurrir de forma lenta o repentinamente si se está expuesto a grandes cantidades de metales pesados al mismo tiempo[6].

El arsénico está presente en el aire, así como el agua y suelo, pudiendo ingresar al organismo a través de la ingesta de alimentos, agua, o aire contaminado. La exposición prolongada a bajos niveles puede causar cambios en la piel, náuseas, vomito, alteraciones sanguíneas, alteraciones cardiacas y neurológicas, mientras que la exposición a altos niveles puede provocar irritación pulmonar, dolor de garganta e incluso la muerte. Además, el departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) y la EPA han determinado que el arsénico inorgánico

es un reconocido carcinógeno que este asociado a un mayor riesgo de cáncer de piel, vejiga, hígado y pulmones. Por otro lado, los niveles altos de hierro en el ser humano pueden provocar síntomas como náuseas y vomito, problemas digestivos, neurológicos, cardiacos y respiratorios[6] [7] [8].

1.1.PROBLEMA

La lixiviación del arsénico y del hierro, derivada de la geología volcánica, y la calidad hidrogeoquímica del agua en la Cuenca del Río Cutuchi y la Microcuenca del Río Pumacunchi y la actividad agrícola (fertilizantes, pesticidas), tienen influencia para afectaciones por la dispersión de hierro y arsénico en sus fuentes de agua que repercuten en gran medida implicaciones para la salud humana y el entorno local.

1.2.BENEFICIARIOS

1.2.1. Beneficiarios directos

Entidades gubernamentales locales y regionales de la provincia de Cotopaxi, Población aledaña a la Cuenca del Río Cutuchi y la Microcuenca del Río Pumacunchi de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi.

1.2.2. Beneficiarios indirectos

La provincia de Cotopaxi en su sector productivo y sector turístico.

1.3.JUSTIFICACIÓN

El desarrollo en la provincia de Cotopaxi ha permitido identificar de cerca los problemas asociados con la contaminación hídrica, evidenciando la necesidad de encontrar soluciones científicas que puedan contribuir a la sostenibilidad de los recursos naturales. Esta investigación es importante, ya que la contaminación de los ríos es perjudicial tanto para la biodiversidad como para la salud de la población local que depende estrechamente de estos recursos. Este estudio nos permitirá comprender mejor las dinámicas hidrogeoquímicas, asociadas al hierro y al arsénico, además de la importancia de llevar a cabo una investigación basada en indagaciones previas, tanto nacionales como internacionales, así como trabajos en conjunto con la Prefectura de Cotopaxi para la toma de muestras que permiten conocer el rango de metales pesados que exceden los límites permisibles nacionales en las muestras de agua. Se considera necesaria la propuesta de investigación con la finalidad de establecer una georreferenciación exacta de los puntos de muestreo estratégicos dentro de la cuenca y

microcuenca, para detectar las fuentes naturales y antropogénicas de contaminación, obteniendo un análisis de riesgo basado en las concentraciones de hierro y arsénico en el agua y la geología de sus alrededores, ofreciendo información crítica para los recursos hídricos y su gestión en Cotopaxi y el avance de estrategias de mitigación en las zonas afectadas, que implican riesgos para la salud humana y el ecosistema local. De esta manera, se busca sensibilizar a las comunidades y gobiernos seccionales sobre las secuelas de este tipo de actividades, para estar al tanto como la cuenca ha resignado cambios en la calidad de agua debido a la falta de control en la eliminación de desechos.

1.4.HIPÓTESIS:

La toma de muestras en puntos georreferenciados, en relación con la geología de la cuenca y microcuenca en estudio, permitirá identificar y comprender las fuentes, procesos y factores que contribuyen a la contaminación de los ríos.

1.5.OBJETIVOS

1.5.1. General

Evaluar los resultados de muestras de análisis físico-químicos de agua enfocados en los metales pesados hierro y arsénico, correlacionándolos con la geología y su lixiviación a lo largo de la cuenca del río Cutuchi y la microcuenca del río Pumacunchi, y sus principales puntos de contaminación.

1.5.2. Específicos

- Georreferenciar puntos de muestreo dentro de la cuenca del río Cutuchi y la microcuenca del río Pumacunchi.
- Recolectar muestras de agua en puntos georreferenciados con el fin de analizar en laboratorio la presencia y concentración de hierro y arsénico.
- Correlacionar las concentraciones de hierro y arsénico en el agua de los alrededores de la cuenca del Río Cutuchi y la microcuenca del río Pumacunchi con los estándares de calidad del agua ya establecidos.
- Calcular el índice de calidad del agua por metales pesados por el método HPI.
- Determinar mediante el diagrama de Piper y Stiff la composición iónica de agua superficial de la zona de estudio.

- Establecer las fuentes naturales y antropogénicas de contaminación por hierro y arsénico en el agua mediante el uso del software QGIS.

2. FUNDAMENTACION TEORICA

2.1. Antecedentes

En provincias de segundo nivel como Cotopaxi y países menos desarrollados como Ecuador, los ríos generalmente son la entrada a alcantarillas o aguas residuales industriales generadas por actividades humanas. Estas aguas residuales se descartan directamente, agravando la contaminación de los recursos hídricos. Como país con una agricultura altamente desarrollada, el mal uso de pesticidas ha tenido un impacto negativo en el medio ambiente sin la tecnología para manejar estos productos. Además, las concentraciones de contaminantes persisten en los ecosistemas acuáticos porque no se eliminan fácilmente del ecosistema mediante procesos naturales. Esto se debe a que contienen altas concentraciones de contaminantes no biodegradables, que se ven agravados por su composición química[9]. Sería interesante realizar estudios, como lo plantean los autores Guanoquiza Tello, L., & Antúñez Sánchez, A, para interpretar lo que pasa con el agua en Ecuador. Uno de los aspectos que aún se considera débil es la calidad del agua, la cual se ve afectada por actividades y procesos contaminantes, provocando la falta de políticas y acciones nacionales claras y efectivas, convirtiéndose en un confuso fenómeno económico, ambiental y social que constituye uno de los más graves impedimentos para “el buen vivir”. Se necesitan procesos de formación ambiental desde la bioética para crear precedentes nacionales en el país o en la región andina del país[10].

Varios factores afectan la calidad del agua. Estos incluyen factores biológicos, incluidos microorganismos como los coliformes fecales. Además, hay factores físicos y químicos como acidez, alcalinidad, color, dureza total, pH, temperatura, turbidez y elementos químicos como el hierro. Los máximos límites admisibles para consumo humano y uso doméstico del agua, que solo necesitan un simple proceso de tratamiento del hierro según la norma ambiental de calidad y las descargas por efluvios, son 1,0 mg/L. Si estos factores superan los niveles de calidad exigidos, esto pudiera causar peligros para la salud como enfermedades por microorganismos transmitidos al agua con un mal manejo del recurso [11].

La creciente demanda de agua y la contaminación del suelo ha causado el deterioro en manantiales y fuentes hidráulicas, lo que ha provocado que una de las principales consecuencias para salud humana sea un aumento notable de la mortalidad poblacional, así como el alto costo financiero de restaurar la disponibilidad del recurso hídrico [12].

2.2. Marco referencial

2.2.1. Cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica se puede describir como área de tierra que abarca un río principal y sus afluentes, incluyendo el área donde se recoge el agua, como el suelo, la vegetación y la fauna, que son clave para diversas actividades humanas. Según la FAO, una cuenca hidrográfica es más que solo una unidad hidrológica; también es un importante sistema físico-biológico y socioeconómico que requiere una gestión adecuada y una planificación sostenida para los recursos naturales dentro y alrededor de ella [13].

2.2.2. Componentes principales de la cuenca

a) Divisoria o parte aguas

Es una línea imaginaria en el alrededor de una cuenca hidrológica que la aparta y distribuye de cuencas adyacentes. En donde la escorrentía causada por precipitación fluye en un sistema de canales hacia una salida. Se pueden identificar dos tipos de divisiones en dicha cuenca: una es de la de aguas en estado superficial (frontera topográfica) y otra de aguas en estado subsuperficial (frontera geológica) [13].

b) Vertientes: Áreas de captación de la cuenca

Área entre la formación y la línea frontera topográfica, la cual puede moverse hacia la derecha o hacia la izquierda dependiendo del movimiento del agua en la formación. La mayoría de los usos de una cuenca se concentran dentro de la cuenca, por ende, su respuesta hidrológica está ligada con el uso de la cuenca [13].

c) Cauce

Es la secuencia de puntos de menor elevación para cada mecanismo transversal llamado TALWEG, que tiene que ver con el camino en el valle. En su sección transversal distinguen: cauces y taludes, que pueden llegar a variar según el tipo de caudal, la zona de la cuenca en la que se ubican, el volumen de sedimentos, etc. [13]

d) Valle

Es la zona menos o más plana que logra existir entre el final de una pendiente pronunciada y su origen. En las cuencas abruptas, los valles son pequeños o casi inexistentes porque las laderas descienden directamente al lecho de los ríos [13].

e) Interflujos

Estos son sectores que tienen una forma triangular y su característica es que están entre dos cuencas colindantes y desaguan directamente al río receptor [13].

2.2.3. Partes de una cuenca

a) Cuenca alta

Este retribuye a la zona en donde el río nace, para luego desplazarse con la ayuda de la pendiente natural del río [14].

b) Cuenca media

Porción de la cuenca donde existe una balanza entre el material sólido que llega traído por el material y la corriente que surge perceptiblemente no existe erosión [14].

c) Cuenca baja

Porción de la cuenca donde el material desarraigado de la zona alta de la cuenca se pone en lo que usualmente se llama cono de deyección [14].

2.2.4. 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	Microcuenca
500-2500	Intermedia-grande	
2500-5000	Grande	Cuenca
>5000	Muy grande	Sistema Hidrográfico

Fuente: Aguirre (2007)

2.2.5. Delimitación de una cuenca hidrográfica

La cuenca hidrográfica en un río se delimita mediante la identificación de la divisoria de aguas o el límite de captación. Este límite natural se determina trazando los puntos más altos

de la tierra que separan dos cuencas adyacentes. No es necesario elaborar más, ya que el relieve es el principal criterio de delimitación. En la literatura, los términos cuenca orográfica y cuenca hidrográfica se utilizan a menudo de manera sinónima porque ambos se refieren al área de recolección y drenaje de agua [15].

La delimitación física de una cuenca hidrográfica, desde un punto de vista geográfico, es tan fácil como identificar una superficie de drenaje natural, lo que significa que también se puede hacer identificando una línea cerrada imaginaria que une los puntos más altos de la superficie terrestre al trazarla perpendicular a las líneas de contorno en los mapas topográficos, marcados así el camino hacia la recolección y drenaje de agua [15].

2.2.6. Softwares para delimitación de cuencas

a) QGIS

Se trata de un método de información geográfica (SIG) que consiente el manejo, la visualización y el análisis de los datos espaciales. A través de esta herramienta los usuarios pueden crear mapas de diferentes temas en varias capas, utilizando distintas proyecciones. Estos mapas pueden ser utilizados en temas como estudios medioambientales, urbanismo y demografía [16].

b) ARGIS

Este posee un conjunto de herramientas que pueden configurarse en la computadora individual o implementarse en una red con distintos equipos de trabajo y servidores. La versión de escritorio de ESRI, conocida como ARGIS Desktop, se compone de módulos organizados en tres aplicaciones clave: ArcMap, ArcCatalog y ArcTools [17].

c) SAGA GIS

El Sistema de Análisis Geocientífico Automatizado (SAGA) es un método de información geográfica (SIG) de cifra abierta, que es especializada para poder tener análisis digital de terrenos y también es una plataforma SIG integral y globalmente establecida para análisis y modelado científico [18].

2.3.Cuenca Río Cutuchi

El río Cutuchi llamado también “un río muerto” debido a la alta contaminación que empuja en su paso por las poblaciones aledañas. En su trayecto por Latacunga, recoge las inmundicias de otros cuatro ríos en las mismas situaciones. El río se extiende por una larga

distancia, cubriendo las provincias de Cotopaxi, Tungurahua y Pastaza, arrastrando la basura en su camino. El problema más serio radica en el hecho de que esas aguas contaminadas se están utilizando para riego, incluyendo el canal de Latacunga- Ambato de 46 kilómetros de largo, que se usa para riego en Tungurahua, a pesar de estar fuertemente contaminado[19] . Se considera que el 70% del agua en el río Cutuchi es impura debido a los residuos arrojados en la cuenca del río. Tristemente, el gobierno aplica reglas para el uso agrícola de esta agua, lo cual es enormemente perjudicial. La civilización natural entiende que el agua es esencial para la vida. Cuando se utiliza de manera inapropiada, el 80% del agua limpia terminará siendo descargada en el ecosistema como aguas residuales, lo que reduce los niveles de vida de la población rural, que irónicamente utiliza el 65% de los recursos. La Cuenca Cutuchi suministra agua de riego al Canal de Riego Latacunga-Salcedo-Ambato, que tiene una longitud total de unos 40 kilómetros y un caudal de 4500 a 5200 litros s⁻¹. Puede irrigar alrededor de 6287 hectáreas de tierra, abasteciendo a Latacunga. Se suministra agua de riego a 17.000 hogares en los estados de Latacunga, Salcedo, Cotopaxi; Ambato y Píllaro en Tungurahua, donde los principales cultivos son cultivos de transición como: cebada, frijol, cebolla, maíz, hortalizas, papa y pastizales. [20].

2.4.Subcuenca Río Pumacunchi

El río Pumacunchi es uno de los primordiales afluentes del río Cutuchi que se origina en el sur de los Ilinizas [21].

2.5.Contaminación del agua

La contaminación del agua cambia su calidad y estructura natural debido a la adhesión de microorganismos, petróleo, emisiones industriales, fertilizantes químicos, pesticidas. Por otro lado, también es causada por recursos naturales, como metales pesados y elementos naturales producidos por la meteorización, procesamiento de rocas o exposición volcánica, como el hierro (Fe) y un elemento que dificulta el suministro de agua potable, ya que exceder los límites permisibles puede ocasionar perjuicios a la salud de los consumidores. Este es el escenario más frecuente y conduce a la aparición de bacterias, hierro y manganeso en ciudades sin sistemas adecuados de tratamiento de agua, causando problemas de salud tanto a los que consumen esta agua como a las tuberías y otros lugares. La existencia de hierro puede provocar decoloración, turbidez y olor en el agua causado por la oxidación de este compuesto [22].

La contaminación del agua se da cuando se introducen restos que alteran negativamente la ponderación ecológica. Los elementos que contaminan el agua pueden ser organismos patógenos, materia orgánica e inorgánica en forma de nutrientes, toxinas, color, calor y hasta materiales radioactivos. Los contaminantes en el agua son nocivos tanto para el recurso como a los seres humanos que lo consuman. Las actividades que generan estos contaminantes, como la agricultura, los componentes químicos o sólidos con altas concentraciones de residuos, provocan cambios en la calidad del agua, lo que aumenta el riesgo de que no pueda ser utilizada de manera segura. El agua y su calidad, uno de los aspectos más relevantes que dañan' las circunstancias de vida de la gente y por lo tanto, su bienestar [5].

2.6. Contaminación del Río Cutuchi

La contaminación dentro de esta cuenca se genera principalmente por fuentes antropogénicas, como las andanadas de aguas residuales de origen industrial y doméstico. Se han reportado cerca de 41 industrias fabriles, curtiembre, bebidas, talleres de ensamblaje, aglomerados, floricultoras, procesamiento de carnes, embutidos y plásticos, cuyos efluentes contienen metales pesados y compuestos orgánicos sin un tratamiento adecuado [23]. Los elementos contaminantes que las industrias esparcen al río Cutuchi se halla las sustancias químicas orgánicas como plásticos, derivados de petróleo, muchos tipos de plaguicidas y detergentes, así como las sustancias químicas inorgánicas: los ácidos, compuestos de metales que son tóxicos y las sustancias químicas [9].

Las actividades agrícolas intensivas en los alrededores de la cuenca también contribuyen a la contaminación con fertilizantes y pesticidas. Entre los cultivos más documentados por el uso frecuente de agroquímicos con contenido de metales pesados se encuentran la papa, cebolla y hortalizas [24].

Por ende, las distintas zonas de la cuenca están siendo afectadas por diferentes tipos de efluentes contaminantes:

- Parte alta: La contaminación proviene principalmente de la erosión de suelos volcánicos, los cuales liberan metales como arsénico y hierro de forma natural en el agua [25].
- Parte media: Los principales contaminantes son los efluentes domésticos e industriales, que vierten aguas residuales sin un tratamiento adecuado, aumentando la concentración de metales pesados [26].

- Parte baja: La contaminación está dominada por la acumulación de residuos agrícolas y sedimentos contaminados, generados por el uso excesivo de fertilizantes y pesticidas [12].

Cada día se vierten 30.000 metros cúbicos de aguas residuales domésticas, causando un agravio aún más amplio en el problema de la contaminación. Las aguas residuales de algunas fábricas fueron captadas por el sistema de riego Latacunga-Salcedo-Ambato mientras fluían por el casco urbano de Latacunga sin tratamiento previo. El agua contaminada de este sistema fue utilizada por 17.000 agricultores de las provincias de Cotopaxi y Tungurahua para regar 26.000 hectáreas de cultivos. Las aguas residuales se originan principalmente en el municipio de Latacunga y contienen elementos orgánicos e inorgánicos como heces, papel higiénico, restos de comida, residuos de utensilios de limpieza, detergentes, plásticos, vidrios y otros tipos que son vertidos directamente al río a través de tuberías de drenaje, los cuales degradan la calidad del agua [9].

2.7. Contaminación Subcuenca Río Pumacunchi

Se sabe que el agua del río Pumacunchi presenta signos de contaminación, la cual es resultado de factores naturales, asentamientos humanos y actividades humanas en zonas urbanas, industriales y florícolas, que generan vertidos de residuos sólidos y líquidos, los cuales contienen contaminantes, se convierten canales en colectores al aire libre [21].

Tiene posibles problemas de contaminación por arsénico y produce aproximadamente 30.000 metros cúbicos de aguas excedentes. Otro problema de contaminación es el uso de fungicidas y fertilizantes químicos. Sectores agrícolas que impactan directamente en los sistemas de riego [21].

2.8. Arsénico

El arsénico inorgánico está ampliamente distribuido en el medio ambiente. En principio, se presenta en la naturaleza en dos estados de oxidación: As (III) y As (V), es decir, el arsénico trivalente y universal, que forma parte de muchos compuestos, incluido el trióxido de arsénico sódico. El arsénico puede ser metilado por bacterias y otros organismos en sedimentos y aguas naturales. También es un elemento ampliamente distribuido en la corteza terrestre. Está clasificado químicamente como un cuerpo metálico y tiene propiedades tanto metálicas como no metálicas. Sin embargo, en el medio ambiente suele encontrarse mezclado

con algunos elementos como oxígeno, cloro y azufre, a los que se combina y se le conoce como arsénico inorgánico. El arsénico compuesto con la combinación del carbono e hidrógeno el cual es llamado órganoarsénico. [5].

La predominante vía de entrada del arsénico al medio ambiente es con el agua. Incluso teniendo en cuenta los sedimentos, el arsénico aún puede moverse fácilmente a los hábitats acuáticos. Los altos niveles de arsénico en el agua y la tierra plantean un problema global debido al contacto prolongado, las cantidades fluctuantes en las aguas habituales y la dependencia de los patrones de deposición del suelo en lugares específicos. Suele ocurrir naturalmente en entornos acuáticos, a menudo originándose en la actividad volcánica, transfiriéndose a diversos sustratos de cuencas fluviales y lacustres, constituyendo un segmento del suelo. El rumbo predominante del arsénico al ambiente es el agua. Inclusive si se toma en cuenta los sedimentos, la disolución de los arsenitos es algo que finiquita para transportar este elemento a los sistemas acuáticos [5].

2.8.1. Arsénico en la salud

La mayor amenaza de arsénico para la salud pública proviene de fuentes subterráneas contaminadas, y su exposición más comúnmente se da a través del beber esta agua, los cultivos alimentados y salpicados con agua contaminada, así como a lo que preparan usando el agua de arsénico como los alimentos. Está confirmado que un tipo de carcinógeno común es el arsénico, contaminante que químicamente es el más importante en el agua potable a nivel mundial. También puede verse en forma orgánica, Los compuestos de arsénicos inorgánicos (que se hallan en el agua) son en gran medida tóxicos, mientras que los compuestos de arsénico orgánico (como los que se muestran presentes en el agua) son enormemente tóxicos, los compuestos de arsénico orgánico (se encuentran en el marisco) son menos dañinos para la salud [27].

Consumir arsénico en exceso aumenta la probabilidad de problemas de salud, mientras que la exposición continua a este elemento, principalmente a través del agua y los alimentos, conducen a una toxicidad persistente. Las personas se enfrentan a una exposición significativa a arsénico inorgánico a través de la ingesta de agua potable contaminada, la utilización de agua contaminada en aplicaciones diarias como agricultura. Además, la ingesta de alimentos corrompidos y el consumo de cigarrillo contribuyen a la exposición al arsénico [27].

2.8.2. Contaminación por arsénico

Es un problema general que exista contaminación por arsénico en acuíferos subterráneos, y muchas zonas presentan una contaminación significativa por arsénico en su suministro de agua. Para la Organización Mundial de la Salud, el arsénico esta entre las diez sustancias químicas que presentan una amenaza significativa para la salud pública. El arsénico afecta al ecosistema principalmente con efectos sobre el suministro de agua y las tierras de cultivo, ya que se encuentra en forma natural en el ambiente (por ejemplo, a través de volcanes) es antropogénico [27].

2.9.Hierro

Es un elemento cuyo origen es químico y metálico de color blando y es el elemento que más abunda en la corteza de la tierra ubicado en el cuarto lugar. El hierro cuando se encuentra en estado puro es muy reactivo y puede llegar a corroerse rápidamente cuando se expone al aire libre. Por eso rara vez se encuentra hierro en arroyos y ríos [21].

2.10. Marco Legal

Para la calidad del agua es necesaria la gestión y control de entidades a nivel mundial como lo son la OMS y distintas entidades gubernamentales las cuales establecen parámetros necesarios que garanticen el amparo de la salud de la humanidad y la conservación y 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.

2.10.1. 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 considera patrimonio nacional de uso inalienable, para uso público, imprescindible y esencial para la existencia, y que es de interés público la protección y prevención del ambiente, conservación de ecosistemas, biodiversidad y la honradez del patrimonio genético del país esto respectivamente a cada artículo [28].

En el segundo capítulo sobre los derechos de la naturaleza en el artículo 71 y 72 que expresan que la naturaleza tiene respetar con obligatoriedad la integridad su existencia y el mantenimiento y regeneración de los ciclos vitales, teniendo así la naturaleza derechos a la restauración[28].

En el tercer capítulo sobre los sectores estratégicos y recursos naturales donde el artículo 318 expresa que se prohíbe que el agua sea privatizada, el agua tiene que ser de gestión pública y comunitaria, ya que, el abastecimiento será prestado únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias ya que el Estado es la única autoridad responsable de la gestión y que estos recursos sean planificados [28].

En el capítulo cuatro sobre la biodiversidad y recursos naturales los artículos 411 y 412 hablan sobre el recurso hídrico su recuperación y conservación, 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 [28].

2.10.2. Marco Regulatorio internacional

2.10.2.1. La Organización Mundial de la Salud (OMS)

Realiza directrices esenciales para la salud, estableciendo normas y estándares, realiza seguimientos y evaluaciones de las tendencias de la salud para proporcionar un apoyo técnico para los países y ayudar a abordar los problemas de salud pública urgente. La OMS en conjunto a 190 Estados miembros trabajan en conjunto para el desarrollo y creación de reformas útiles y necesarias para la salud [29].

2.10.2.2. Environmental Protection Agency (EPA)

El principio fundamental de la Agencia de Protección Ambiental establece que cada división debe asegurarse que el público pueda participar efectivamente en los programas y actividades que afecten la salud y el entorno ambiental con el fin de fomentar normativas que ayuden a establecer parámetros que beneficien al ambiente y proteger la salud [30].

2.10.3. Marco Regulatorio nacional

2.10.3.1. 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]

2.10.3.2. 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]

2.10.3.3. 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 del medio ambiente y descargas de efluentes basado en el agua[33], donde se establecen límites máximos 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. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

3.1. Metodología

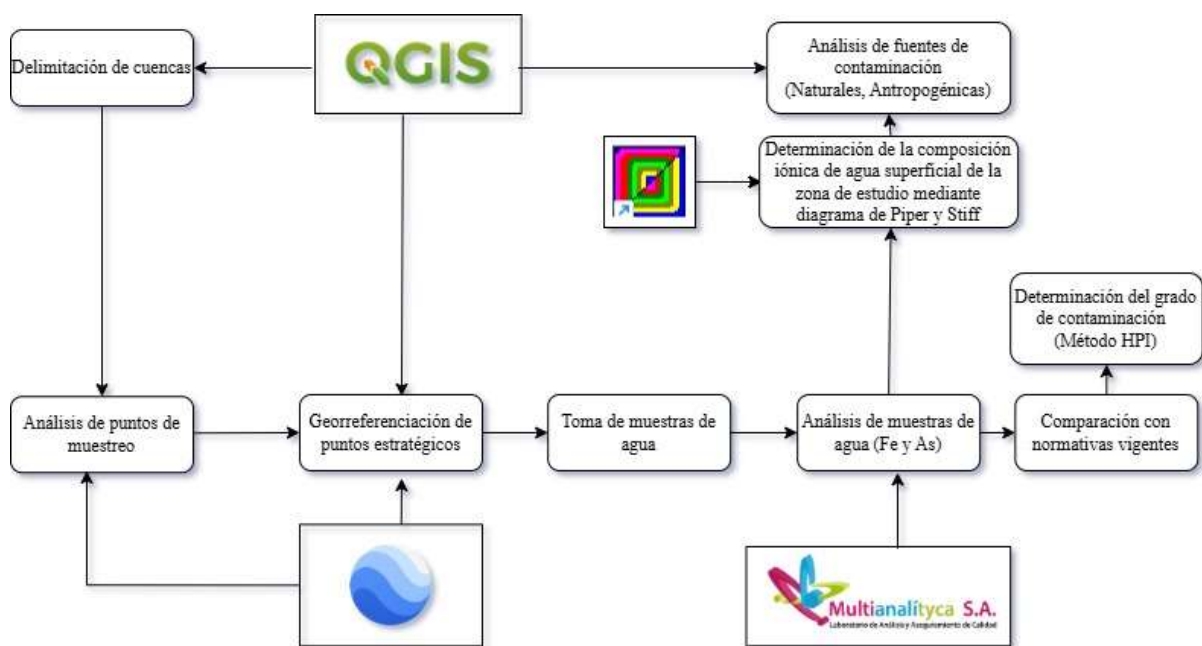
Dentro de la metodología manejada en la investigación, se manejó el método descriptivo. A través de este enfoque, se recopiló un conocimiento inicial de la realidad observada, tanto a través de la observación directa del investigador como mediante el análisis de la información proporcionada por otros autores; adicional a ello, este método descriptivo súplica el entendimiento de la información que tiene que tomar seguimiento a varios requisitos del objetivo de estudio sobre el cual lleva a cabo la investigación [34]. Por esta razón se ha optado por la interpretación y recopilación de datos para poder comprender, analizar y medir las muestras, para así saber cuáles son los puntos de georreferenciación que tienen más niveles de contaminación en las cuencas estudiadas, según estudios de investigación previos.

En el método cuantitativo es importante instaurar la asociación o reciprocidad de todas las variables, así como también la difusión objetiva de los resultados por medio de una muestra, que consiente realizar deducciones causales a una población que trata de explicar por qué se da o no un determinado fenómeno o hecho[35]; debido a esto se logró recabar información por parte de la Prefectura de Cotopaxi, el cual sirvió como estructura principal con análisis de muestras desde el año 2022 y el año 2023 para así hallar los mejores resultados en el

proceso de muestreo en el año 2024, combinando sus vivencias y conocimiento con la investigación.

Acotando a Daniel Piestrak, el método explicativo nos permite identificar las causas, los “porque” de los acontecimientos observados [36]. Por ello este enfoque resulta fundamental para poder entender los métodos geoquímicos que influyen en la movilidad y concentración de metales pesados en el sistema hídrico mediante la ayuda de procesos en donde interviene la correlación entre aguas superficiales, ojos de agua y aguas subterráneas que permiten comprender la calidad iónica de estos flujos, que van ligados estrechamente en la mayor facilidad de lixiviación de contaminantes en el agua. Al ser un método operacional y basado en la lógica concreta, nos permitió analizar de manera objetiva los factores geológicos, hidrodinámicos y antropogénicos que inciden en la contaminación del agua, alineándose con la normativa vigente del TULSMA en Ecuador, así como la calidad de agua que exige el método de clasificación por metales pesados HPI.

3.2. Esquema metodológico



Fuente: Autor

Figura 1. Flujograma de pasos que se siguieron para la evaluación hidrogeoquímica y dinámica de la dispersión de hierro y arsénico en los ríos Cutuchi y Pumacunchi.

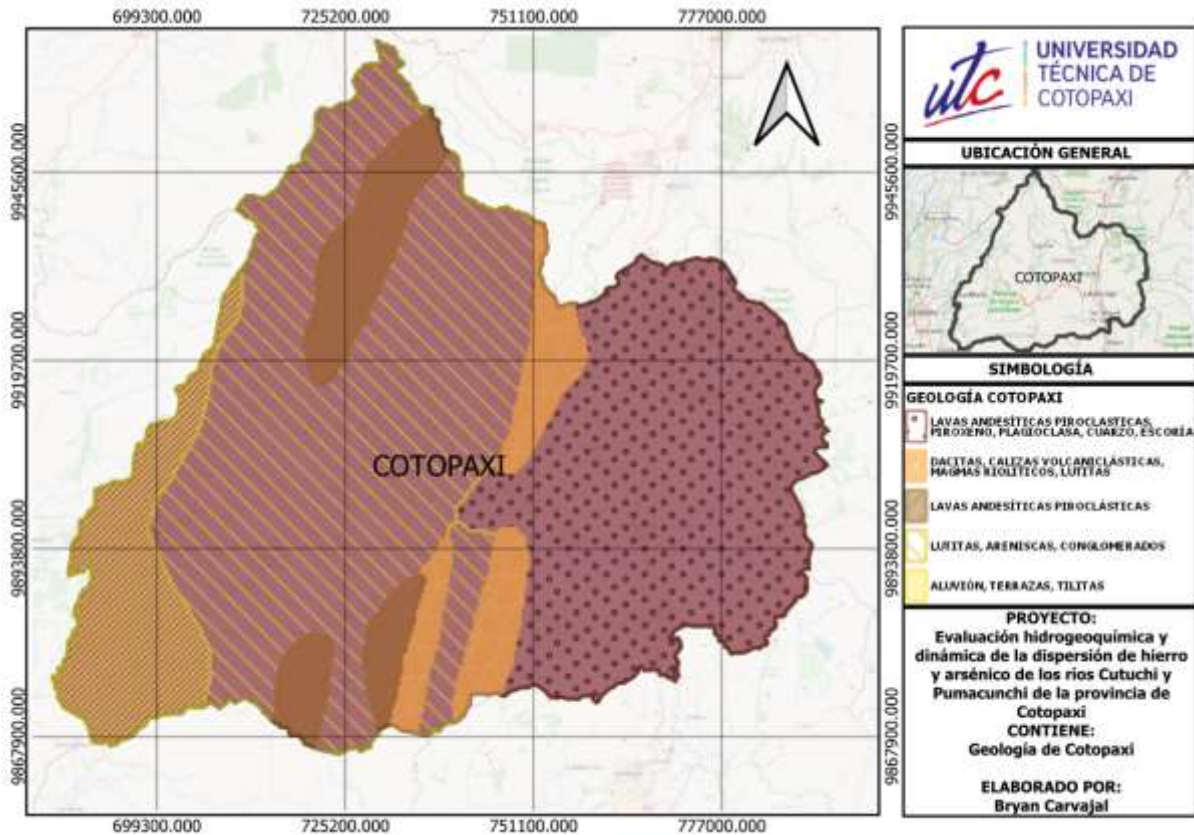
3.3. Áreas de estudio

El presente estudio se desarrolló en una cuenca y una microcuenca hidrográfica, que corresponden a los ríos: Cutuchi y Pumacunchi los cuales se encuentran al centro del Ecuador en la región interandina o sierra de la provincia de Cotopaxi.

En la provincia de Cotopaxi que supone una superficie de 6071 km² y su población se aproxima a más de 300.000 habitantes, se encuentra el volcán Cotopaxi el cual pertenece a la Cordillera Oriental de los Andes, ubicado a un trayecto 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. 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)[37]

El Ecuador está enmarcado por la Cordillera de los Andes, esta subdividida en 3 cordilleras como lo son las cordilleras de Occidente, Oriente y la cordillera Suboriental. La cordillera a la que se centra la investigación es la Cordillera Oriental, esta recorre elevaciones como: Cotopaxi, Altar y Sangay, Cayambe, Antisana, Tungurahua, esta cordillera es una de las más altas del país.[38]

A continuación, se puede observar que gracias a la ayuda de QGIS con georreferenciación satelital, se puede identificar la geología de la provincia de Cotopaxi en sus distintas ubicaciones como se muestra en la Figura 2.



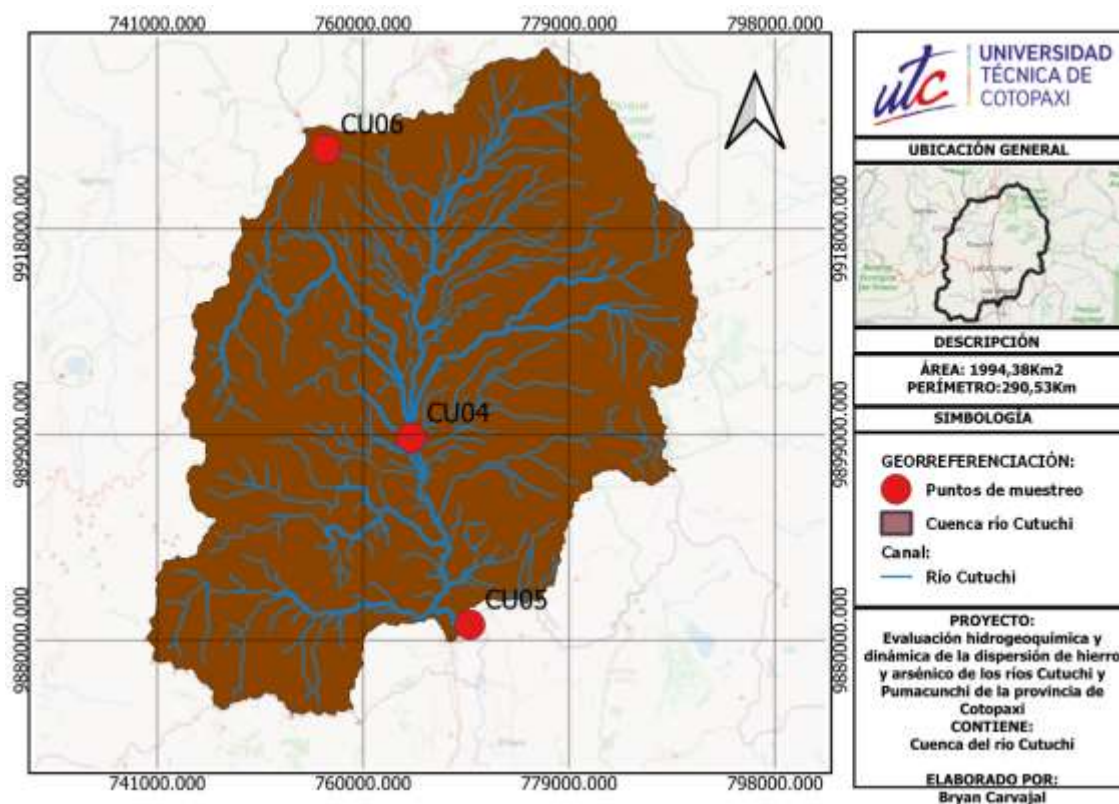
Fuente: Autor

Figura 2. Delimitación Geológica de la provincia de Cotopaxi.

3.3.1. Cuenca del río Cutuchi

El río Cutuchi recorre 91.74km en dirección norte a sur, desde la desembocadura en el volcán Cotopaxi ubicado en la parte central de Ecuador a 4.004 m.s.n.m. hasta su juntura con el río Ambato a 2,240 m.s.n.m [39]. Esta formado de la parte alta de la cuenca del río Pastaza, uno de los ríos más importantes de la región en la Amazonía ecuatoriana. A lo largo de su recorrido, atraviesa diversas localidades pequeñas, así como la ciudad de Latacunga, la cual es la capital de la provincia de Cotopaxi, y llega hasta la ciudad de Ambato, capital de la provincia de Tungurahua. En este punto, tras confluir con el río Ambato, toma el nombre de Patate. La cuenca abarca una superficie aproximada de 428.020,87 hectáreas [26].

La destemplanza promedio anual en la región es de 13.7°C, por otro lado la precipitación anual alcanza los 634 mm, aunque en ciertas áreas puede llegar hasta los 986,2 mm. El caudal promedio anual es de 11,5 m³/s. En cuanto a los regímenes hidrológicos., el periodo de mayor caudal, conocido como avenida, ocurre entre febrero y julio, mientras que el estiaje, que corresponde a la época de menor caudal, se extiende de julio a enero[23].



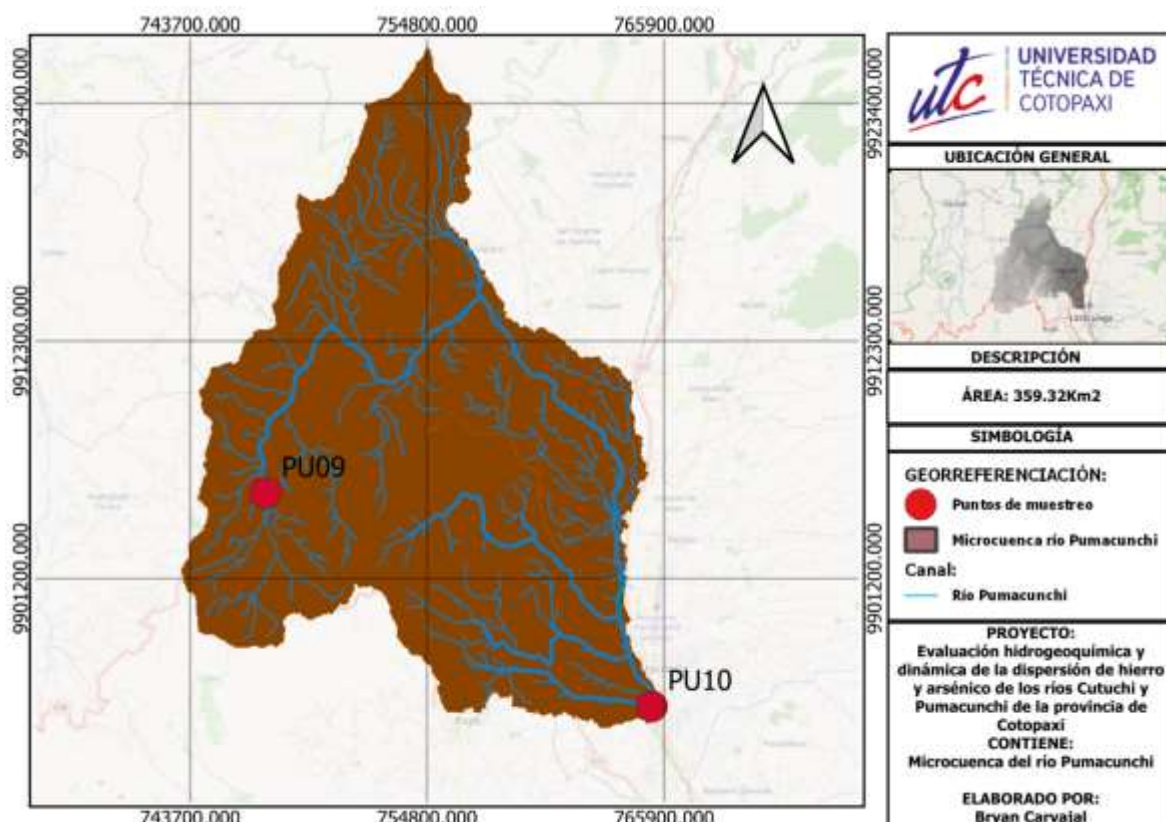
Fuente: Autor

Figura 3. Delimitación de la cuenca del río Cutuchi de la provincia de Cotopaxi, con los puntos de muestreo realizados.

3.3.2. Microcuenca del río Pumacunchi

El río Pumacunchi se forma por la confluencia del río Negro, nacido en el noroeste del cantón Latacunga, de la confluencia de varios arroyos y arroyos originados en el desierto de Chalúa, y el río Pintze con el río Blanco. Un afluente del río se une al río Pucayaco, el cual surge del deshielo de los Ilinizas ubicados en la zona. estado del norte [24]. Con caudal cercano de 2080.24 l/s y superficie de 359.32km².

La temperatura promedio máxima va desde los 24,3° mientras que la mínima desde los 1,8°C y su media es de 13,82°C; su precipitación máxima anual tiene un rango de 76,9mm hasta los 4,6mm, la humedad relativa media de 86% con rangos de 99% hasta 46% [40].



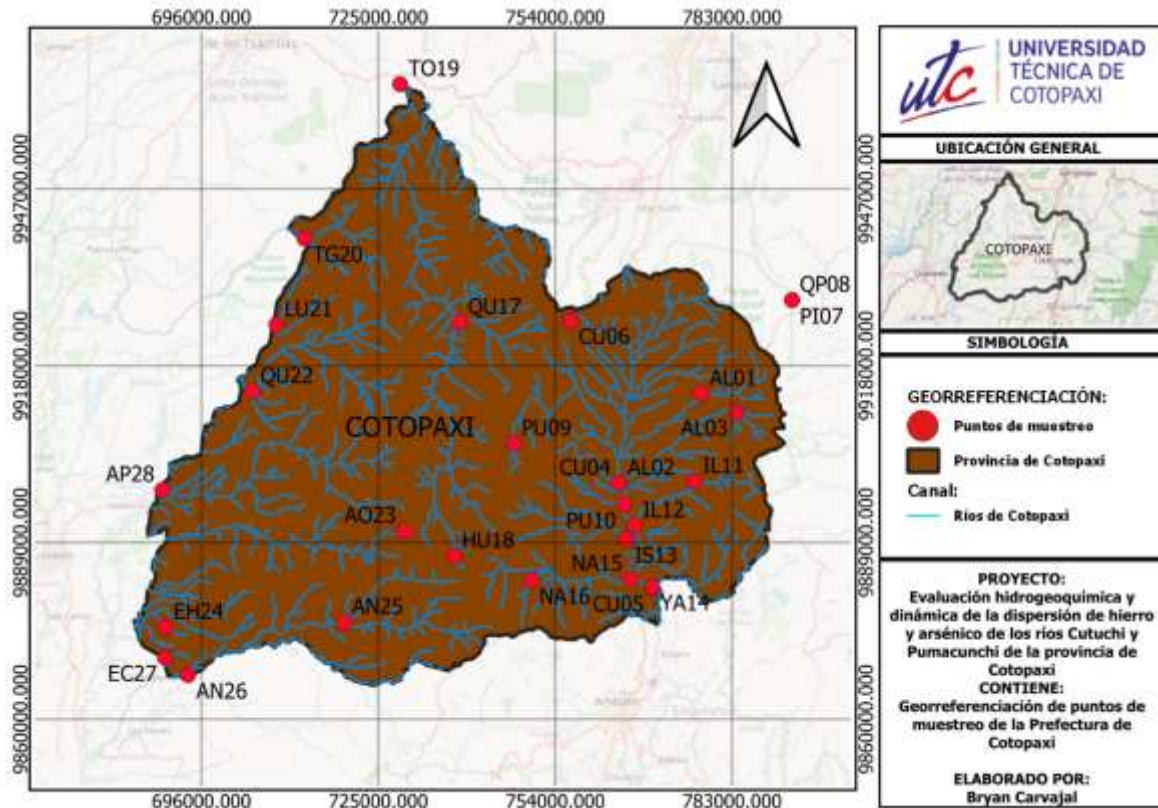
Fuente: Autor

Figura 4. Delimitación de la micro cuenca del río Pumacunchi de la provincia de Cotopaxi, con los puntos de muestreo realizados.

3.4. Datos de muestreo proporcionados por la Prefectura de Cotopaxi de la contaminación de los ríos de la provincia de Cotopaxi del periodo 2022 - 2023

De acuerdo a la planificación por parte de la Prefectura de Cotopaxi mediante el programa Yakupak Wasi con respecto al monitoreo de calidad de agua realizado en el periodo 2022 – 2023. La matriz de resultados de los análisis de calidad del agua fue proporcionada para fines investigativos, los cuales se utilizaron como punto de partida en la georreferenciación y estudio del análisis hidrogeoquímico de la dispersión de hierro y arsénico en la cuenca del río Cutuchi y la microcuenca del río Pumacunchi.

La recolección de muestras fue realizada desde el mes de Julio del 2022 y los primeros meses del año 2023. Los análisis se realizaron en 28 puntos de los ríos de la provincia de Cotopaxi, tomando una muestra en el año 2022 y otra en el año 2023. En la Tabla 2, al igual que la figura 5 se indican las coordenadas y la georreferenciación de ubicación de los puntos de muestreo realizados por la Prefectura de Cotopaxi.



Fuente: Autor

Figura 5. Georreferenciación de puntos de muestreo realizados por la Prefectura de Cotopaxi, periodo 2022-2023.

Tabla 2. Análisis realizados en 28 puntos de los ríos de la provincia de Cotopaxi, en 2022 y 2023.

Muestra	Ubicación	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	Jameli	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	Quititóa	738157	9924728
HU18	Huantupulog	737183	9886355
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
EC27	Estero Calabasito-Calabi	689773	9869673
AP28	San Pablo	689342	9897206

Fuente: Autor

Las muestras se realizaron en base a la normativa NTE-INEN 2169-2013, “Calidad del agua: Requeridos y métodos para las muestras del líquido vital (H₂O)”, la NTE-INEN 2176-2013, que establece la guía técnica de muestreo para la obtención de datos necesarios en el análisis de control de calidad, al igual que la NTE-INEN 2226-2013, que funda los principios generales aplicarse en el esbozo de programas de muestreo para el control de calidad.

3.5. Programa de monitoreo de la cuenca del río Cutuchi y la microcuenca del río Pumacunchi para el periodo 2024

El programa de monitoreo de la Prefectura de Cotopaxi para el periodo 2024 tiene como objetivo tener una evaluación de la calidad del agua en puntos estratégicos de la cuenca del río Cutuchi y la microcuenca del río Pumacunchi. Por ello se realizaron procesos como la toma de muestras, filtración de partículas, preservación y transporte de las muestras de aguas superficiales. Primeramente, se realizó una enumeración de materiales y equipos que se ocuparon para el análisis en el laboratorio, estos materiales tenían que estar correctamente calibrados antes de comenzar con el muestreo.

Además, fue necesario aplicar cadenas de custodia y etiquetas pertinentes para cada muestra. Estas fueron impresas para tenerlas listas al momento de muestreo, cada frasco fue rotulado anticipadamente, para evitar confusiones al identificar la muestra; así como las etiquetas fueron protegidas con cinta adhesiva transparente para poder tenerlas en buen estado en casos de riesgo por salpicadura del agua o los preservantes. Para el procedimiento del muestreo se procedió a realizar de forma manual.

Por último, para la preservación de las muestras se utilizaron preservantes según los parámetros que exige la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169-2013, “Calidad del agua: Requeridos y métodos para la toma de muestras de agua”, estos reactivos fueron manipulados con suma precaución, tomando en cuenta las medidas de seguridad necesarias, para evitar riesgos en la salud de los integrantes. Además, para el transporte de las muestras se utilizó coolers con hielo para mantener la cadena de frío.

3.5.1. Muestreo

Para el muestreo de arsénico y hierro en el río Pumacunchi y el río Cutuchi, se aplicaron las pautas detalladas en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169, “Calidad del agua: Requeridos y métodos para la toma de muestras de agua”. Se recolectaron un total de 2

muestras en puntos estratégicos del río Pumacunchi y 3 muestras adicionales a lo largo del río Cutuchi para cada metal, todas georreferenciadas tomando en cuenta los estudios previos proporcionados por la Prefectura de Cotopaxi, como se muestra en la Figura 5, para poder obtener un registro espacial preciso de las concentraciones de estos metales. Estos puntos fueron seleccionados estratégicamente para captar la variabilidad de las concentraciones de arsénico y hierro en diferentes condiciones ambientales.

3.5.2. Toma y recolección de muestras

Para cada una de las muestras se extrajo un volumen de 1 litro por muestra, asegurando una cantidad adecuada para los análisis de laboratorio. La recolección se realizó a una profundidad aproximada de entre 30cm y 40cm desde la superficie del agua, un nivel representativo que evita la influencia directa de contaminantes superficiales y sedimentos en la profundidad del río.

Garantizando una correcta toma de muestras de agua y así evitar cualquier interferencia en el análisis de metales pesados en el laboratorio, se utilizó una bomba de vacío R-300 VACUUM PUMP de 110V y 60Hz de la marca BOECO. Este equipo permitió la filtración eficiente de partículas presente en las muestras, asegurando que el agua analizada estuviera libre de sólidos en suspensión que pudieran alterar los resultados.

3.5.3. Transporte y almacenamiento de las muestras al laboratorio

Para conservar las características de las muestras, se utilizaron recipientes de plástico estériles pre-tratados para evitar cualquier tipo de contaminación. Tras la recolección, las muestras se mantuvieron a una temperatura de 4°C con la ayuda de coolers con hielos; y se añadió HNO₃ AL 5% (pH 2) durante su transporte al laboratorio para así no alterar los resultados. En el laboratorio, se siguieron métodos analíticos específicos para la cuantificación de arsénico y hierro, conforme a los requisitos de precisión establecidos en la NTE INEN 2169 como indica la Tabla 3.

Tabla 3. Requisitos de precisión establecidos en la NTE INEN 2169

Numero de muestras	Parámetros	Expresado como	Volumen de muestra	Conservación	Tiempo de conservación
5	Arsénico	As	1000 mL	HNO ₃ pH<2 Refrigerar	Hasta 6 meses
5	Hierro	Fe	1000 mL	HNO ₃ pH<2 Refrigerar	Hasta 6 meses

Fuente: Autor

3.5.4. Determinación de metales pesados en muestras de agua

El proceso para poder determinar el arsénico y hierro en las muestras de agua del periodo 2024 sigue todos los lineamientos establecidos por métodos validados, así como el método interno ajustado a las condiciones del laboratorio que envió los resultados. El método interno MFQ-106 sirvió para acondicionar las muestras, cumpliendo criterios de pretratamiento necesarios para poder garantizar resultados reproducibles.

Para la digestión de las muestras de arsénico, se empleó el método EPA 3005, Rev. 01, 1992, utilizando digestión acida asistida, lo que permitió la solubilización de los analitos metálicos [41].

Posteriormente, las concentraciones de hierro y arsénico se determinan mediante espectroscopia de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado (ICP) siguiendo la técnica descrita en el método de referencia EPA 6010B, December 1996 [42] y Estándar Methods Ed. 24, 2023, 3120B [43]. Ya que estos métodos proporcionan alta precisión y sensibilidad para la cuantificación de trazas metálicas en el rango ppb a ppm.

El protocolo asegura la calibración diaria del ICP utilizando soluciones patrón trazables y también comprueba y control su calidad mediante blancos, duplicados y estándares de referencia certificados. Gracias a ello los resultados permiten caracterizar la contaminación por arsénico y hierro, fundamentalmente en la evaluación de la calidad del agua en relación con los estándares nacionales e internacionales.

3.6.Comparación con resultados de las muestras del periodo 2022 – 2024, del río Cutuchi y Pumacunchi con los límites permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente Nacional e Internacional

Todos los resultados de la caracterización fueron revisados en conjunto con el Libro VI del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) en Ecuador, para así poder identificar el nivel de cumplimiento de los parámetros y rangos de clasificación de calidad del agua, tomando en cuenta todos los criterios de calidad admisible para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces. Al igual que análisis de límites permisibles de distintas instituciones que fomentan la salud humana y la calidad ambiental de la comunidad y de los países como lo son la OMS, como sistemas internacionales que utilizan reglamentaciones contra el arsénico y hierro en el agua.

3.7.Determinación del grado de contaminación con el índice de metales pesados (HPI)

De acuerdo con la metodología empleada los autores Onkar y Sulochana, en donde explican que el Índice de Contaminación por metales pesados (HPI) se establece asignando un coeficiente de ponderación (W_i) a cada uno de los parámetros seleccionados. Este coeficiente tiene un valor que varía de forma arbitraria entre 0 y 1, dependiendo de la relevancia de cada criterio de calidad específico. Además, dicho coeficiente puede ser determinado como inversamente proporcional al estándar de los valores permisibles [44].

Este índice de metales pesados (HPI) puede calcularse mediante la comparación de los metales y sus concentraciones con los estándares de calidad ambiental del agua, conforme al método que se detalla a continuación. Para el estudio, se aplicó la normativa establecida en el TULSMA (Anexo VI), reconocida como el marco que regula la calidad del agua en el Ecuador. Los metales pesados analizados incluyeron: hierro y arsénico, seleccionados por estudios previos de contaminación en la cuenca y microcuenca investigada, así como por su toxicidad y potencial impacto sobre el ambiente y la salud del ser humano.

De acuerdo con Abdullah [45], citado por Chirinos[46], el cálculo del Índice de Contaminación por Metales Pesados (HPI) se basa en la asignación de una ponderación específica a cada metal en función de su influencia en la calidad del agua evaluada. El proceso de cálculo del HPI incluye los pasos a continuación:

- a. Procesamiento de datos del coeficiente de ponderación del i -ésimo parámetro.

- b. Procesamiento de datos de la calificación de calidad para cada uno de los metales pesados.
- c. Adición de estos subíndices en el índice general.

El coeficiente llamado de ponderación del *i*-ésimo parámetro, se tiene aplicando la siguiente ecuación:

$$W_i = \frac{k}{S_i}$$

En donde:

W_i = coeficiente de ponderación [46].

S_i = norma reconocida para el *i*-ésimo parámetro [46].

k = constante de proporcionalidad (1) [46].

Para el caso del Ecuador S_i valor del límite permisible para el *i*-ésimo parámetro que se encuentra en el Texto Unificado de legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA). De igual forma la constante de proporcionalidad es la establecida en el método (HPI) [47].

La calificación del individual de cada parámetro, se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

$$Q_i = 100 * \frac{V_i}{S_i}$$

En donde:

Q_i = subíndice *i*-ésimo parámetro.

V_i = valor medido del parámetro.

S_i = límites permisibles para el *i*-ésimo parámetro.

Cabe recalcar que V_i es el valor del parámetro o el promedio de los resultados de los análisis de agua realizados en el laboratorio y S_i es el límite permisible para el *i*-ésimo parámetro el cual es el valor aceptado en el TULSMA [47].

Para calcular el índice de metales pesados (HPI), se obtiene aplicando la siguiente ecuación final:

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n W_i * Q_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

A continuación, la Tabla 4 muestra la calificación para el índice de metales pesados.

Tabla 4. Calificación para el índice de metales pesados

RANGO	Clasificación	Nivel de riesgo	Descripción
HPI \leq 15	Excelente calidad	Sin riesgo	Agua sin contaminación por metales pesados, completamente apta para consumo humano y ecosistemas
15<HPI \leq 30	Buena calidad	Riesgo muy bajo	Agua con trazas de metales pesados, dentro de niveles seguros.
30<HPI \leq 50	Aceptable	Riesgo bajo	Agua con ligeros indicios de contaminación, generalmente apta para consumo con monitoreo regular
50<HPI \leq 75	Moderadamente contaminada	Riesgo moderado	Agua con concentraciones significativas de metales pesados, requieren tratamiento antes de consumo
75<HPI \leq 100	Contaminada	Riesgo alto	Agua con niveles preocupantes de contaminación, no recomendada para consumo sin un tratamiento avanzado
100<HPI \leq 150	Fuertemente contaminada	Riesgo muy alto	Agua con alta contaminación, representa un peligro para la salud y el medio ambiente
HPI>150	Extremadamente contaminada	Riesgo crítico	Agua con una carga tóxica muy elevada, altamente peligrosa y no apta para ningún uso sin remediación

Fuente: Autor

3.8. Determinación de la composición iónica de agua superficial de la zona de estudio

Como punto de partida es importante mencionar que los estudios hidrogeoquímicos requieren de la comparación y correlación entre aguas superficiales y aguas subterráneas por ello es importante tener en cuenta para estos estudios los parámetros iónicos tanto de aguas subterráneas, así como de las superficiales con el fin de poder analizarlos en diagramas de Piper.

Según Dong Ji, la correlación hidrogeoquímica de flujos subterráneos con superficiales sirve para poder entender el porcentaje de intrusión tanto de aguas dulces como saladas a los acuíferos subterráneos, a través de sistemas de aguas superficiales, relacionando con el impacto de las actividades humanas, que permiten la mayor rapidez de lixiviación de los contaminantes[48].

Para poder determinar la composición iónica del agua superficial de nuestros puntos de muestreo es importante el poder interpretar el diagrama de Piper el cual se lo realiza con la clasificación de Chevotarev (1995), para ello los puntos de muestreo que se localizan en cada área ya establecida para su composición iónica, podrá ser clasificada para su interpretación, a continuación, esta se visualiza en la Figura 6.

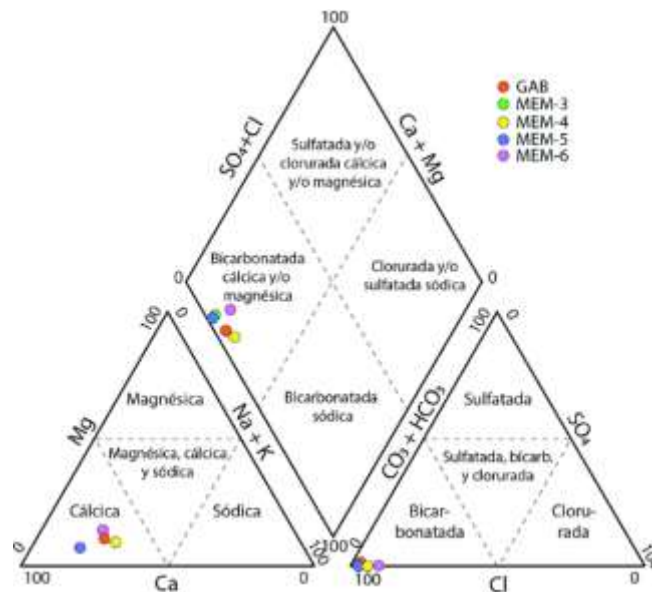


Figura 6. Clasificación del diagrama de Piper según Chevotarev (1995).

Fuente: Chevotarev (1995)

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Datos de muestreo proporcionados por la Prefectura de Cotopaxi de la

contaminación de los ríos de la provincia de Cotopaxi del periodo 2022 - 2023

Los análisis que conciben resultados para la calidad del agua realizados por el programa Yaupak Wasi de la Prefectura de Cotopaxi en los años 2022 y 2023 arrojaron resultados divergentes en cuanto a la presencia de hierro (Fe) y arsénico (As). Para el (Fe), se observó un aumento significativo en 14 puntos de muestreo durante el año 2023 en comparación con 2022. En contraste, la concentración de (As) se mantuvo constante en la mayoría de los puntos de muestreo en ambos periodos, salvo en la ubicación de Angamarca en 2023, donde se registró un valor de 0.0012 mg/L (As) en las coordenadas x: 719175, y: 9875527.

Debido a estas variaciones, surgieron dudas sobre la efectividad del método de medición utilizado, Por esta razón, se realizó una nueva toma de muestras en el periodo 2024 con el propósito de mantener el monitoreo constante y establecer relaciones con los resultados previos y analizar posibles cambios en la calidad del agua. Los resultados logrados se entablan en las tablas 5 y 6 y los puntos con los que se trabajaran en el periodo 2024 son los establecidos con color rojo:

Tabla 5. Resultados de Hierro (Fe) en el año 2022 y 2023.

Muestra	Ubicación	Resultados	
		2022	2023
		Hierro	
		mg/L	mg/L
AL01	Aláquez	0,67	0,43
AL02	Aláquez	0,99	0,9
AL03	Aláquez	0,84	0,56
CU04	Cutuchi	< 0,25	0,9
CU05	Cutuchi	< 0,25	1,4
CU06	Cutuchi	3,32	0,7
PI07	Pita	0,89	< 0,25
QP08	Jameli	0,46	1,6
PU09	Pumacunchi	0,71	< 0,25
PU10	Pumacunchi	0,77	1,3
IL11	Illuchi	0,85	0,5
IL12	Illuchi	0,31	1,5
IS13	Isinche	< 0,25	0,49
YA14	Yanayacu	< 0,25	0,44
NA15	Nagsiche	0,63	0,41
NA16	Nagsiche	0,52	0,68
QU17	Quititoa	0,78	< 0,25
HU18	Huantupulog	1,51	1,9
TO19	Toachi	0,58	3,17
TG20	Toachi Grande	< 0,25	< 0,25
LU21	Lulu Grande	< 0,25	< 0,25
QU22	Quindigua	< 0,25	< 0,25
AO23	Apagua	0,82	0,48
EH24	Estero Hondo	0,45	24,29
AN25	Angamarca	0,47	0,82
AN26	Angamarca	0,65	20,9
EC27	Estero Calabasito- Calabi	0,33	0,62
AP28	San Pablo	0,95	< 0,25

Fuente: Autor

Tabla 6. Resultados de Arsénico (As) en el año 2022 y 2023.

Muestra	Ubicación	Resultados	
		2022	2023
		Arsénico	
		mg/L	mg/L
AL01	Aláquez	< 0,0005	< 0,0005
AL02	Aláquez	< 0,0005	< 0,0005
AL03	Aláquez	< 0,0005	< 0,0005
CU04	Cutuchi	< 0,0005	< 0,0005
CU05	Cutuchi	< 0,0005	< 0,0005
CU06	Cutuchi	< 0,0005	< 0,0005
PI07	Pita	< 0,0005	< 0,0005
QP08	Jameli	< 0,0005	< 0,0005
PU09	Pumacunchi	< 0,0005	< 0,0005
PU10	Pumacunchi	< 0,0005	< 0,0005
IL11	Illuchi	< 0,0005	< 0,0005
IL12	Illuchi	< 0,0005	< 0,0005
IS13	Isinche	< 0,0005	< 0,0005
YA14	Yanayacu	< 0,0005	< 0,0005
NA15	Nagsiche	< 0,0005	< 0,0005
NA16	Nagsiche	< 0,0005	< 0,0005
QU17	Quititoa	< 0,0005	< 0,0005
HU18	Huantupulog	< 0,0005	< 0,0005
TO19	Toachi	< 0,0005	< 0,0005
TG20	Toachi Grande	< 0,0005	< 0,0005
LU21	Lulu Grande	< 0,0005	< 0,0005
QU22	Quindigua	< 0,0005	< 0,0005
AO23	Apagua	< 0,0005	< 0,0005
EH24	Estero Hondo	< 0,0005	< 0,0005
AN25	Angamarca	< 0,0005	0,0012
AN26	Angamarca	< 0,0005	< 0,0005
EC27	Estero Calabasito- Calabi	< 0,0005	< 0,0005
AP28	San Pablo	< 0,0005	< 0,0005

Fuente: Autor

Para la selección de los cinco puntos estratégicos en los ríos Cutuchi y Pumacunchi para el análisis de contaminación por arsénico y hierro en el periodo 2024, se consideraron criterios ambientales y socioeconómicos que son claves para el desarrollo de la provincia de Cotopaxi. Si bien la matriz inicial contempla todos los ríos de la región, estos dos cuerpos hídricos se

destacan por su alta relevancia ecológica, así como la presencia de estudios previos y su función importante para fuentes de abastecimiento para comunidades aledañas en usos de riego por canales. Además, estudios previos y reportes ambientales que identificaron en ellos concentraciones de metales pesados, atribuidas a la geología y fuentes antropogénicas en sus cuencas. La dinámica pluvial y la geología de la zona ayudan a la movilización y bioacumulación de estos elementos. La selección de estos puntos estratégicos permitió evaluar el motivo de las variaciones espaciales y temporales de la contaminación, todo ello en cumplimiento con la norma ambiental vigente (TULSMA). Como se puede verificar en las tablas 5 y 6 con color rojo son los puntos escogidos para la presente investigación.

En la tabla 5, se observan variaciones con respecto a la concentración de (Fe) en los años 2022 y 2023, en donde el río Cutuchi presentó una concentración de 3,32 mg/L en 2022 en las coordenadas x: 756283, y: 9924979. Lo que nos indica que la variación más alta se muestra en 2022. En cuanto a la concentración de (As), se mantuvo constante en un valor de < 0,0005 mg/L para ambos años, como se observa en la tabla 6.

Ortiz (2020) presentó un estudio sobre la concentración de (As) en la cuenca de del río Carrizal en Manabí, con el objetivo de determinar los niveles de este elemento en agua superficial y sedimentos. Los resultados indicaron valores de hasta 35,64 mg/L para las aguas de origen superficial y 47,41 mg/kg para sedimentos, los que sugieren que los altos niveles podrían ser de origen antropogénico. Al comparar este estudio con los obtenidos en los ríos Cutuchi y Pumacunchi, se observa que las concentraciones de (As) en la presente investigación son significativamente menores (< 0,0005 mg/L). Estas variaciones podrían atribuirse a las diferentes actividades antropogénicas como a las características antropológicas y geológicas de las respectivas cuencas [49].

4.2. Programa de monitoreo de la cuenca del río Cutuchi y la microcuenca del río Pumacunchi del periodo 2024

Para el programa de monitoreo del análisis de contaminación por metales pesados en la cuenca del río Cutuchi y la microcuenca del río Pumacunchi, se llevó a cabo el 17 de diciembre del 2024 desde las 6:00 am hasta 8:00 pm. Se identificaron 5 puntos estratégicos y georreferenciados, tomando en cuenta los datos de muestro proporcionados por la

Prefectura de Cotopaxi en zonas de la cuenca: alta, media y baja del río Cutuchi, así como la microcuenca alta y baja del Pumacunchi.

El primer punto, CU06, se encuentra en la zona alta del río Cutuchi, en la parte alta de los Ilinizas, donde se pudo evidenciar como una zona con presencia de bosques, así como de actividad hidrotermal (anexo 3). En la zonificación de la parte alta del río Pumacunchi, ubicado en Zumbahua, se localiza el punto PU09, donde se observaron áreas de cultivo y vida acuática en sus aguas (anexo 12). En la zona media de la cuenca del río Cutuchi, en la ciudad de Latacunga, se encuentra el punto CU04, ubicado en el sector del Mayorista, donde existe la presencia de contaminación antropogénica de las casas aledañas al río (anexo4). Por otro lado, el punto PU10, en la cuenca baja del río Pumacunchi, está situado en el barrio San Rafael de Latacunga, en ella se pudo evidenciar la presencia considerable de pastizales de ganado, así como un olor muy fuerte que brotaba de sus aguas (anexo 7 y 8). Finalmente, en el punto CU05, corresponde a la zona baja de la cuenca del río Cutuchi, se ubica en la ciudad de Salcedo, en a la misma se evidenció deforestación alrededor de la zona y la presencia muy considerable de desechos de sólidos en el área circundante (anexo 9 y 11).

En la tabla 7 y 8 se observa que, en el punto CU06, las concentraciones de (Fe) y (As) son diferencialmente altas en el año 2024 a comparación de los demás puntos que se monitorean de la cuenca del río Cutuchi. Este punto se encuentra en la zona alta de la cuenca en la parte de los Ilinizas, donde las variaciones en las concentraciones de (Fe) son más pronunciadas que las de (As). A diferencia de los puntos de muestreo de la cuenca del río Pumacunchi, que muestra un valor no pronunciado entre sus resultados.

Estos hallazgos coinciden con el estudio de Orozco (2022), quien reportó la presencia de (As) en aguas y suelos de Toacaso, parroquia ubicada en la parte noroccidente del cantón Latacunga, en las faldas de los Ilinizas. Dado que esta parroquia se encuentra geográficamente cerca a nuestras áreas de estudio, se sugiere una conexión hidrogeológica entre las fuentes de agua de ambas regiones [50].

En su investigación, Orozco (2022) destaca que el (As) está presente de forma natural en la superficie del agua y que, en su forma inorgánica es tóxico. El mismo análisis ha sido corroborado en el presente estudio. En cuanto a las concentraciones específicas, Orozco (2022) concluye que la presencia de (As) supera los límites permisibles de 0.1 mg/L, según

los Criterios que hablan de la calidad de aguas para riego agrícola del Acuerdo Ministerial (2015) para su respectivo uso.

En cuanto a nuestro estudio, se registraron concentraciones de (Fe) de 2,93 mg/L y (As) de 0,812 mg/L en el punto CU06, en la zona alta de la cuenca, donde claramente las concentraciones de (Fe) son más pronunciadas que las de (As). La similitud de ambos estudios destaca la importancia de mantener los monitores constantes, así como la implementación de medidas de biorremediación de la cuenca.

Tabla 7. Monitoreo de la cuenca del río Cutuchi y la microcuenca del río Pumacunchi del periodo 2024 concentraciones de (Fe).

Muestra	Resultados
	2024
	Hierro mg/L
CU04	0,195
CU05	0,316
CU06	2,93
PU09	0,338
PU10	0,181

Fuente: Autor

Tabla 8. Monitoreo de la cuenca del río Cutuchi y la microcuenca del río Pumacunchi del periodo 2024 concentraciones de (As).

Muestra	Resultados
	2024
	Arsénico mg/L
CU04	<0,008
CU05	0,031
CU06	0,812
PU09	<0,008
PU10	0,068

Fuente: Autor

4.3.Determinación y comparación de la norma vigente en los resultados de los metales pesados arsénico y hierro en las muestras de agua

Los metales pesados analizados en la presente investigación fueron el arsénico (As) y hierro (Fe). Todas estas concentraciones de los metales fueron comparadas con el TULSMA, para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional, así como desinfección, para la prevención de flora y fauna en agua fría dulce,

para aguas de uso agrícola, así como normas internacionales que fomentan la salud humana y la calidad ambiental en distintos países como lo es la OMS para el arsénico y hierro que propone la prevención y el control ambiental.

4.3.1. Correlación para agua de consumo

En la tabla 9 y 10, se muestra los resultados del hierro y arsénico del periodo 2022, donde se mira que existen tres valores para el hierro que sobrepasan los límites permisibles por consumo por tratamiento convencional, así como el de desinfección que se encuentran en el libro VI Anexo 1 del TULSMA, mientras que para el caso del arsénico los resultados de todas las muestras tienen el mismo valor que cumple en todas las normas y estándares de calidad de agua. Por ello el punto CU06 se encuentra con niveles sumamente altos de los aceptables en la agencia de protección ambiental y la salud.

Tabla 9. Resultados de (Fe) en 2022.

Muestra	Resultados	TULSMA	
	2022	Consumo convencional	Consumo por desinfección
	Hierro	1	0,3
	mg/L	mg/L	mg/L
CU04	< 0,25	Cumple	Cumple
CU05	< 0,25	Cumple	Cumple
CU06	3,32	No cumple	No cumple
PU09	0,71	Cumple	No cumple
PU10	0,77	Cumple	No cumple

Fuente: Autor

Tabla 10. Resultados de (As) en 2022.

Muestra	Resultados		TULSMA	
	2022	Consumo convencional	Consumo por desinfección	
	Arsénico	0,05	0,05	
	mg/L	mg/L	mg/L	
CU04	< 0,0005	Cumple	Cumple	
CU05	< 0,0005	Cumple	Cumple	
CU06	< 0,0005	Cumple	Cumple	
PU09	< 0,0005	Cumple	Cumple	
PU10	< 0,0005	Cumple	Cumple	

Fuente: Autor

Para el periodo del año 2023 como se muestra en la tabla 11 y 12, cuatro de los 5 puntos generan un aumento en la contaminación por hierro en el agua haciendo que rebasen los límites permisibles máximos en el TULSMA (Libro VI anexo 1), mientras que el punto PU09 ha disminuido hasta llegar al límite permisible para consumo humano en todas las normas de calidad de agua para consumo. El arsénico en este año continúa teniendo el mismo valor permisible para todos los puntos.

Tabla 11. Resultados de (Fe) en 2023.

Muestra	Resultados		TULSMA	
	2023	Consumo convencional	Consumo por desinfección	
	Hierro	1	0,3	
	mg/L	mg/L	mg/L	
CU04	0,9	Cumple	No cumple	
CU05	1,4	No cumple	No cumple	
CU06	0,7	Cumple	No cumple	
PU09	< 0,25	Cumple	Cumple	
PU10	1,3	No cumple	No cumple	

Fuente: Autor

Tabla 12. Resultados de (As) en 2023.

Muestra	Resultados		TULSMA	
	2023	Consumo convencional	Consumo por desinfección	
	Arsénico	0,05	0,05	
	mg/L	mg/L	mg/L	
CU04	< 0,0005	Cumple	Cumple	
CU05	< 0,0005	Cumple	Cumple	
CU06	< 0,0005	Cumple	Cumple	
PU09	< 0,0005	Cumple	Cumple	
PU10	< 0,0005	Cumple	Cumple	

Fuente: Autor

Para el periodo de toma de muestras del año 2024 como se muestra en la tabla 13 y 14, reiteradamente existen 3 puntos de contaminación excedente de hierro con respecto a las normas de calidad de agua para consumo humano, también se puede evidenciar que el punto constante que se mantuvo contaminado en los 3 años es el CU06 con un nivel muy elevado en el último año de 2,93mg/L, aquel que se encuentra en las faldas del Iliniza, por esta razón la contaminación podría darse por fuentes naturales debido a la composición del suelo. La Organización Mundial de la Salud alude que las concentraciones mayores a 0.3mg/L de hierro no representan un peligro a corto plazo para la salud del público, pero si hay un acaparamiento de hierro se expondría a ser víctima de trastornos en la mucosa del estómago y necrosis hemorrágica [51].

Mientras que en este último periodo el arsénico posee 3 puntos en donde sobrepasa todos los límites máximos permisibles de las normas para el consumo humano, lo atribuye al cambio de metodología analítica para las muestras, en este caso el CU06 sigue siendo el punto de contaminación más alto con 0.812mg/L, que sobrepasa por mucho a los límites máximos permisibles de exposición.

Tabla 13. Resultados de (Fe) en 2024.

Muestra	Resultados		TULSMA	
	2024	Consumo convencional	Consumo por desinfección	
	Hierro	1	0,3	
	mg/L	mg/L	mg/L	
CU04	0,195	Cumple	Cumple	
CU05	0,316	Cumple	No cumple	
CU06	2,93	No cumple	No cumple	
PU09	0,338	Cumple	No cumple	
PU10	0,181	Cumple	Cumple	

Fuente: Autor

Tabla 14. Resultados de (As) en 2024.

Muestra	Resultados		TULSMA	
	2024	Consumo convencional	Consumo por desinfección	
	Arsénico	0,05	0,05	
	mg/L	mg/L	mg/L	
CU04	<0,008	Cumple	Cumple	
CU05	0,013	Cumple	Cumple	
CU06	0,812	No cumple	No cumple	
PU09	<0,008	Cumple	Cumple	
PU10	0,048	Cumple	Cumple	

Fuente: Autor

4.3.2. Correlación para preservación de flora y fauna

Como se observa en la tabla 15 y 16, los resultados de la caracterización de agua durante el periodo del año 2022 rebasan los límites permisibles máximos para la preservación de flora y fauna de agua dulce, esto en la cuenca alta del río Cutuchi CU06 y en la microcuenca alta y baja PU09 – PU10, del río Pumacunchi. Mientras que el arsénico se encuentra con niveles bajos que no influyen en la contaminación para la preservación de flora y fauna en ecosistemas de agua dulce.

Tabla 15. Resultados de (Fe) de la caracterización de agua durante el periodo del año 2022.

Muestra	Resultados		TULSMA
	2022	Preservación flora y fauna	
	Hierro	0,3	
	mg/L	mg/L	
CU04	< 0,25	Cumple	
CU05	< 0,25	Cumple	
CU06	3,32	No cumple	
PU09	0,71	No cumple	
PU10	0,77	No cumple	

Fuente: Autor

Tabla 16. Resultados de (As) de la caracterización de agua durante el periodo del año 2022.

Muestra	Resultados		TULSMA
	2022	Preservación flora y fauna	
	Arsénico	0,05	
	mg/L	mg/L	
CU04	< 0,0005	Cumple	
CU05	< 0,0005	Cumple	
CU06	< 0,0005	Cumple	
PU09	< 0,0005	Cumple	
PU10	< 0,0005	Cumple	

Fuente: Autor

En el periodo del año 2023 como se muestra en la tabla 17 y 18, aumentan dos puntos el CU04 – CU05, la contaminación en sus aguas mientras que uno disminuye y no rebasa los límites permitidos para preservación de flora y fauna en ecosistemas de agua dulce el punto PU09. El arsénico se mantiene con niveles bajos de contaminación en todas sus aguas.

Tabla 17. Resultados de (Fe) de la caracterización de agua durante el periodo del año 2023

Muestra	Resultados		TULSMA
	2023	Preservación flora y fauna	
	Hierro	0,3	
	mg/L	mg/L	
CU04	0,9	No Cumple	
CU05	1,4	No cumple	
CU06	0,7	No cumple	
PU09	< 0,25	Cumple	
PU10	1,3	No cumple	

Fuente: Autor

Tabla 18. Resultados de (As) de la caracterización de agua durante el periodo del año 2023.

Muestra	Resultados		TULSMA
	2023	Preservación flora y fauna	
	Arsénico	0,05	
	mg/L	mg/L	
CU04	< 0,0005	Cumple	
CU05	< 0,0005	Cumple	
CU06	< 0,0005	Cumple	
PU09	< 0,0005	Cumple	
PU10	< 0,0005	Cumple	

Fuente: Autor

En el periodo del último año 2024 de la tabla 19 y 20, la cuenca alta del río Cutuchi CU06 sigue siendo el punto de contaminación más alto tanto por Hierro como de arsénico para la preservación de flora y fauna en ecosistemas de agua dulce.

Tabla 19. Resultados de (Fe) de la caracterización de agua durante el periodo del año 2024.

Muestra	Resultados		TULSMA
	2024	Preservación flora y fauna	
	Hierro	0,3	
	mg/L	mg/L	
CU04	0,195	Cumple	
CU05	0,316	No cumple	
CU06	2,93	No cumple	
PU09	0,338	No cumple	
PU10	0,181	Cumple	

Fuente: Autor

Tabla 20. Resultados de (As) de la caracterización de agua durante el periodo del año 2024.

Muestra	Resultados		TULSMA
	2024	Preservación flora y fauna	
	Arsénico	0,05	
	mg/L	mg/L	
CU04	<0,008	Cumple	
CU05	0,013	Cumple	
CU06	0,812	No cumple	
PU09	<0,008	Cumple	
PU10	0,048	Cumple	

Fuente: Autor

4.3.3. Correlación para uso agrícola

En la tabla 21 y 22 se muestra los resultados del periodo del 2022 en relación con los límites máximos permisibles del TULSMA al igual que los límites establecidos por la OMS para su uso en la agricultura; como se observa sus parámetros son mucho más permisibles por ende todos los puntos cumplen con los niveles máximos de contaminación para el hierro y arsénico mientras que la OMS el límite máximo permisible es bajo con un total de 0,1mg/L lo cual en todos los puntos de muestreo se encuentran correctamente para este año.

Tabla 21. Relación con los límites máximos permisibles del TULSMA y la OMS de (Fe) año 2022.

Muestra	Resultados	TULSMA	OMS
	2022	Uso agrícola	
	Hierro	5	N/A
	mg/L	mg/L	mg/L
CU04	< 0,25	Cumple	N/A
CU05	< 0,25	Cumple	N/A
CU06	3,32	Cumple	N/A
PU09	0,71	Cumple	N/A
PU10	0,77	Cumple	N/A

Fuente: Autor

Tabla 22. Relación con los límites máximos permisibles del TULSMA y la OMS de (As) año 2022.

Muestra	Resultados	TULSMA	OMS
	2022	Uso agrícola	
	Arsénico	0.1	0.1
	mg/L	mg/L	mg/L
CU04	< 0,0005	Cumple	Cumple
CU05	< 0,0005	Cumple	Cumple
CU06	< 0,0005	Cumple	Cumple
PU09	< 0,0005	Cumple	Cumple
PU10	< 0,0005	Cumple	Cumple

Fuente: Autor

En el periodo 2023 como se muestra en la tabla 23 y 24, también se encuentra cumpliendo todos los límites máximos permisibles tanto el hierro como el arsénico, tanto para el TULSMA como para la OMS. Por ello no existió problema alguno que esas aguas hayan sido utilizadas para uso de riego en terrenos en ese año.

Tabla 23. Relación con los límites máximos permisibles del TULSMA y la OMS de (Fe) año 2023.

Muestra	Resultados	TULSMA	OMS
	2023	Uso agrícola	
	Hierro	5	N/A
	mg/L	mg/L	mg/L
CU04	0,9	Cumple	N/A
CU05	1,4	Cumple	N/A
CU06	0,7	Cumple	N/A
PU09	< 0,25	Cumple	N/A
PU10	1,3	Cumple	N/A

Fuente: Autor

Tabla 24. Relación con los límites máximos permisibles del TULSMA y la OMS de (As) año 2023.

Muestra	Resultados	TULSMA	OMS
	2023	Uso agrícola	
	Arsénico	0.1	0.1
	mg/L	mg/L	mg/L
CU04	< 0,0005	Cumple	Cumple
CU05	< 0,0005	Cumple	Cumple
CU06	< 0,0005	Cumple	Cumple
PU09	< 0,0005	Cumple	Cumple
PU10	< 0,0005	Cumple	Cumple

Fuente: Autor

En las muestras del periodo del año 2024 como se muestra en la tabla 25 y 26, el único punto de contaminación es el CU06 para el caso del arsénico en donde excede por mucho el límite máximo permisible y no es recomendable utilizarlo para riego según la norma establecida por la OMS, así como el TULSMA, para precautelar la salud del ser humano.

Tabla 25. Relación con los límites máximos permisibles del TULSMA de (Fe) año 2024.

Muestra	Resultados	TULSMA	OMS
	2024	Uso agrícola	
	Hierro mg/L	5 mg/L	N/A mg/L
CU04	0,195	Cumple	N/A
CU05	0,316	Cumple	N/A
CU06	2,93	Cumple	N/A
PU09	0,338	Cumple	N/A
PU10	0,181	Cumple	N/A

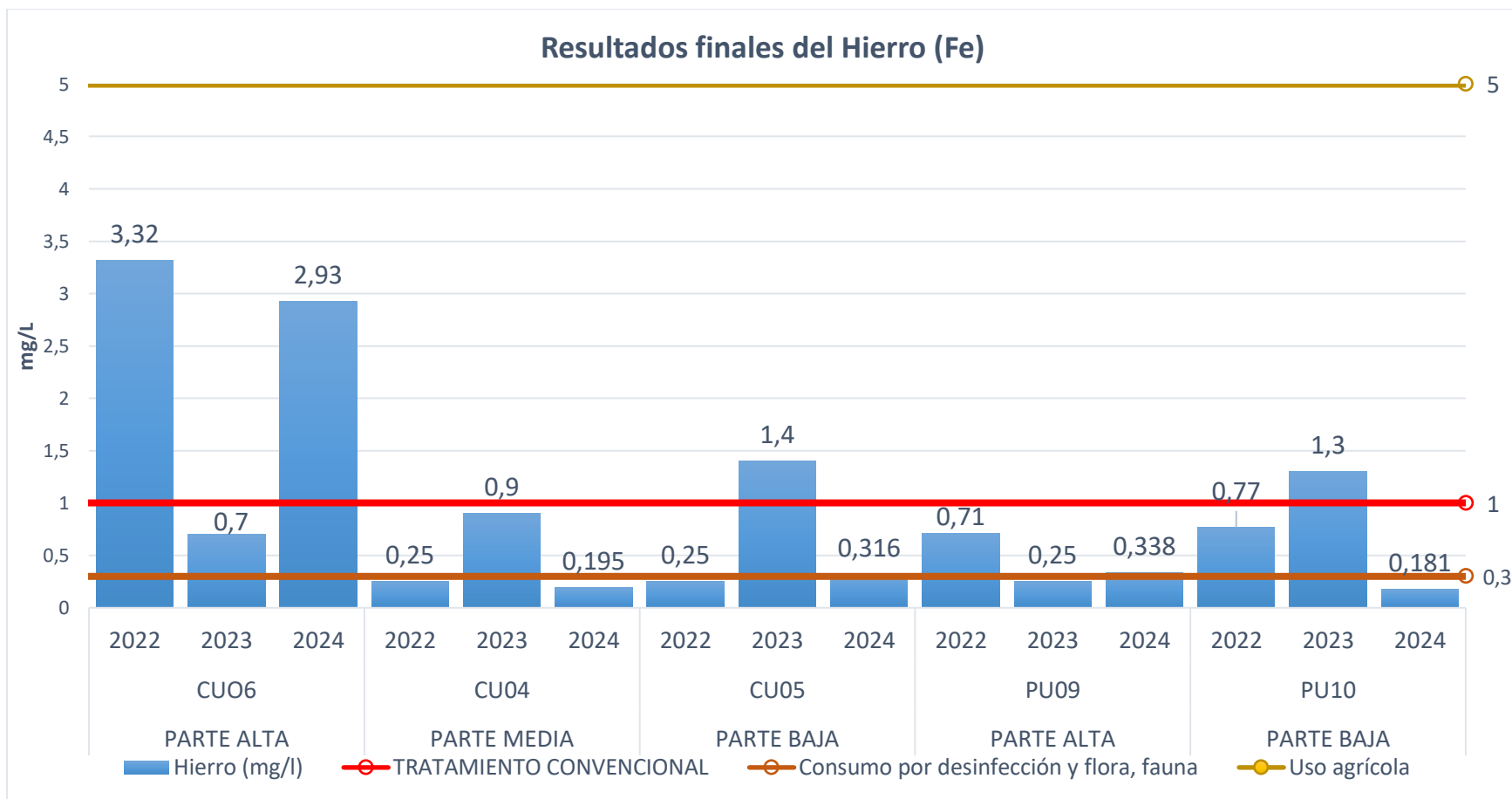
Fuente: Autor

Tabla 26. Relación con los límites máximos permisibles del TULSMA de (As) año 2024.

Muestra	Resultados	TULSMA	OMS
	2024	Uso agrícola	
	Arsénico mg/L	0.1 mg/L	0.1 mg/L
CU04	<0,008	Cumple	Cumple
CU05	0,013	Cumple	Cumple
CU06	0,812	No cumple	No Cumple
PU09	<0,008	Cumple	Cumple
PU10	0,048	Cumple	Cumple

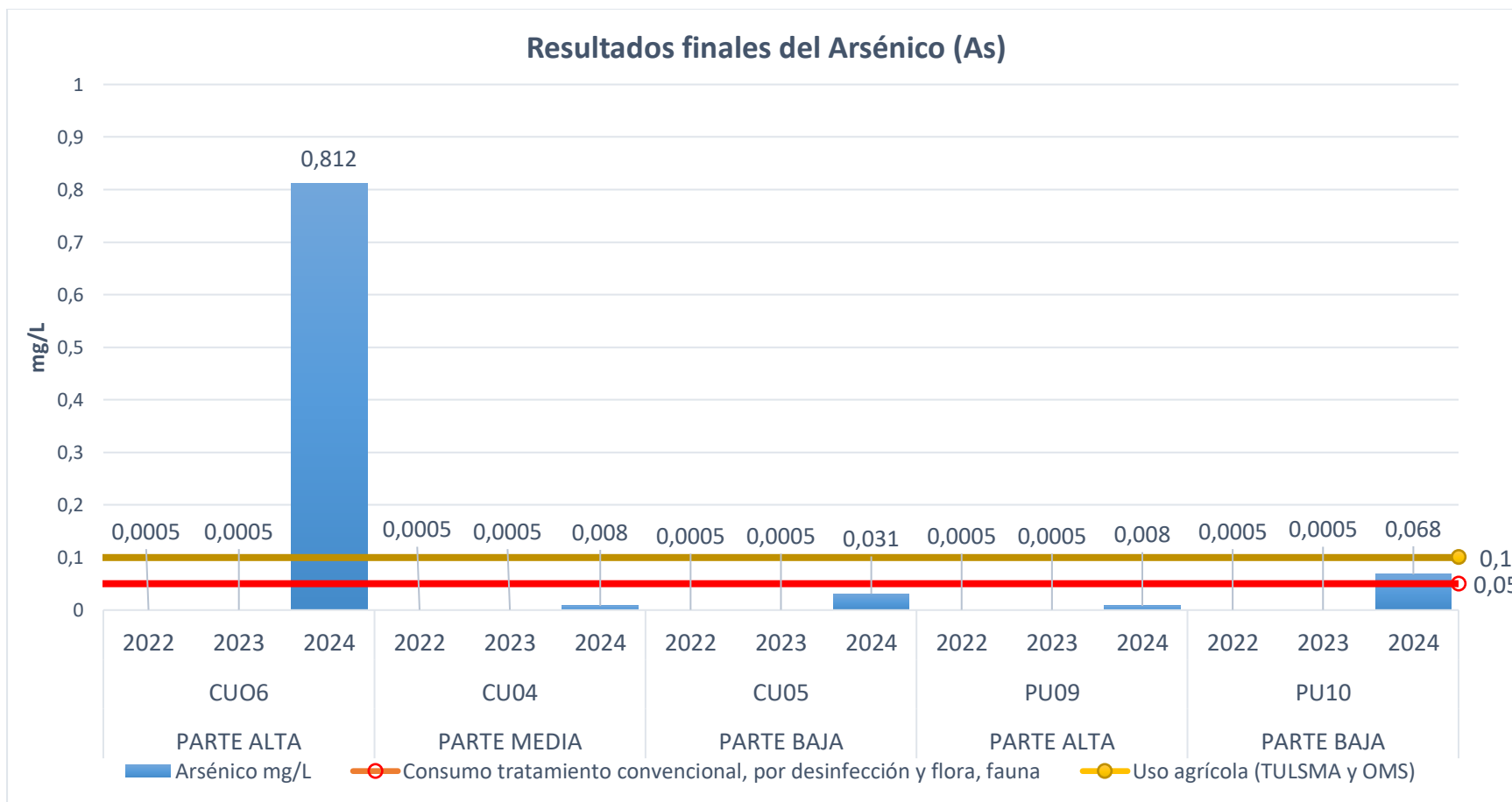
Fuente: Autor

A continuación, en la figura 7 y 8 se muestra los histogramas de todos los resultados desde el periodo 2022 al 2024, en donde es evidente que los niveles más altos de hierro (Fe) se encuentran en la parte alta de la cuenca del río Cutuchi y el arsénico (As) presenta un aumento significativo en el periodo del 2024, en la parte media de la cuenca del río Cutuchi existe una disminución en los niveles de hierro (Fe) y arsénico (As) al igual que en la parte baja, esto evidencia claramente que el mayor grado de contaminación por hierro y arsénico en la cuenca del río Cutuchi es por la geología de estos suelos. Mientras que en la microcuenca del río Pumacunchi los niveles más altos son en la parte baja de este, pero para el periodo del año 2024 es el pico más bajo de contaminación por hierro (Fe), pero para el arsénico (As) el más alto.



Fuente: Autor

Figura 7. Histograma de resultados finales de los puntos de muestreo para el Hierro en el periodo 2022 - 2024.



Fuente: Autor

Figura 8. Histograma de resultados finales de los puntos de muestreo del Arsénico en el periodo 2022 - 2024.

4.4.Determinación del grado de contaminación de los puntos de muestreo con el método HPI

A continuación, se presenta la determinación del grado de contaminación con el índice de metales pesados (HPI) con el uso del TULSMA para consumo por desinfección, así como para preservación de flora y fauna, en donde se realizó un análisis del periodo 2022 al 2024 y así obtener la clasificación de la calidad de agua de cada punto de muestreo.

En la tabla 27, del punto de muestreo CU04 de la cuenca media del río Cutuchi hay poca presencia de contaminación por metales pesados y por ende se puede esto evidenciar con el análisis del cálculo del grado de contaminación con el índice de metales pesados HPI, y así fue como se obtuvo un resultado evidente de 26,49 mg/L lo cual según la tabla de calificación del índice muestra que la calidad del agua en este punto es aceptable y tiene un riesgo bajo que muestra ligeros indicios de contaminación, generalmente apta para consumo con monitoreo regular.

Datos:

k= 1 valor normalmente utilizado para cálculos ambientales

Si= limite permisible para flora y fauna; y consumo humano por desinfección para el hierro (Fe) 0.05mg/L, para el arsénico (As) 0.3mg/L.

Calculo para flora y fauna; y consumo por desinfección:

Arsénico (As):

$$w_i = \frac{1}{0.05}$$

$$w_i = 20$$

$$Q_i = 100 * \frac{0.003}{0.05}$$

$$Q_i = 6$$

Hierro (Fe):

$$w_i = \frac{1}{0.3}$$

$$w_i = 3.333$$

$$Q_i = 100 * \frac{0.448}{0.3}$$

$$Q_i = 149.444$$

$$HPI = \frac{618.15}{23.33}$$

$$HPI = 26.492$$

Tabla 27. Determinación del grado de contaminación con el índice de metales pesados (HPI) punto CU04.

			CU04			
PARAMETROS	UNIDAD	CONSUMO Y FLORA, FAUNA	2022	2023	2024	PROMEDIO
Arsénico	mg/L	0,05	0,0005	0,0005	0,008	0,003
Hierro	mg/L	0,3	0,25	0,9	0,195	0,448

PERIODO 2022 - 2024						
Vi	Si	K	Wi	Qi	Wi*Qi	HPI
0,003	0,05	1	20	6	120	
0,448	0,3	1	3,333	149,444	498,148	
TOTAL (Wi)=			23,333	TOTAL (Wi*Qi) =		618,148
						26,492

Fuente: Autor

En la tabla 28, se muestra el punto CU05 de la cuenca baja del río Cutuchi localizado en la ciudad de Salcedo, en donde se puede apreciar mayor grado de contaminación he incumplimiento con la norma del TULSMA, por esta razón el valor del grado de contaminación del índice de metales pesados HPI sale 49,49 en donde la calificación para este punto es que su calidad de agua es baja contaminación y presenta un riesgo bajo ya que no representa peligro para la salud y el medio ambiente.

Tabla 28. Determinación del grado de contaminación con el índice de metales pesados (HPI) punto CU05.

CU05						
PARAMETROS	UNIDAD	CONSUMO Y FLORA, FAUNA	2022	2023	2024	PROMEDIO
Arsénico	mg/L	0,05	0,0005	0,0005	0,031	0,011
Hierro	mg/L	0,3	0,25	1,4	0,316	0,655

PERIODO 2022 - 2024						
Vi	Si	K	Wi	Qi	Wi*Qi	HPI
0,011	0,05	1	20	21,333	426,667	
0,655	0,3	1	3,333	218,444	728,148	
TOTAL (Wi)=			23,333	TOTAL (Wi*Qi) =		1154,815
						49,492

Fuente: Autor

Para el punto CU06, como se muestra en la tabla 29, que se encuentra ubicado en la cuenca alta del río cutuchi a las faldas del Iliniza, ha arrojado que tiene niveles muy altos de contaminación por hierro en los tres periodos estudiados, mientras que para el arsénico existe una concentración alta en el último año, por ello el grado de contaminación con el índice de metales pesados HPI ha resultado con un nivel alto de 574,89 con una calificación de calidad de agua extremadamente contaminada por metales pesados por lo que representa un riesgo crítico debido a su alto peligro y no es apta para ningún uso sin remediación.

Tabla 29. Determinación del grado de contaminación con el índice de metales pesados (HPI) punto CU06.

			CU06			
PARAMETROS	UNIDAD	CONSUMO Y FLORA, FAUNA	2022	2023	2024	PROMEDIO
Arsénico	mg/L	0,05	0,0005	0,0005	0,812	0,271
Hierro	mg/L	0,3	3,32	0,7	2,93	2,317

PERIODO 2022 - 2024						
Vi	Si	K	Wi	Qi	Wi*Qi	HPI
0,271	0,05	1	20	542,000	10840,000	
2,317	0,3	1	3,333	772,222	2574,074	
TOTAL (Wi)=			23,333	TOTAL (Wi*Qi) =		13414,07
						574,889

Fuente: Autor

Para la tabla 30 del punto PU09 ubicado en la parte alta de la microcuenca en la ciudad de Latacunga sector el Mayorista, se puede observar a simple vista que existen dos valores en periodos distintos que no cumplen con los parámetros de la EPA para el hierro, mientras que el arsénico en los tres años en estudio da cumplimiento a la norma, por ello el grado de contaminación con el índice por metales pesados HPI tiene un valor de 25.74 con una calificación de calidad de agua con un riesgo bajo apto para consumo con monitoreo regular.

Tabla 30. Determinación del grado de contaminación con el índice de metales pesados (HPI) punto PU09.

PU09						
PARAMETROS	UNIDAD	CONSUMO Y FLORA, FAUNA	2022	2023	2024	PROMEDIO
Arsénico	mg/L	0,05	0,0005	0,0005	0,008	0,003
Hierro	mg/L	0,3	0,71	0,25	0,338	0,433

PERIODO 2022 - 2024						
Vi	Si	K	Wi	Qi	Wi*Qi	HPI
0,003	0,05	1	20	6	120	
0,433	0,3	1	3,333	144,222	480,741	
TOTAL (Wi)=			23,333	TOTAL (Wi*Qi) =		600,741
						25,746

Fuente: Autor

En la tabla 31, se muestra el punto PU10 de la parte baja del río Pumacunchi, ubicado en el sector de San Rafael que se encuentra en la ciudad de Latacunga, se tienen resultados en donde solo existió contaminación por hierro en los periodos del año 2022 al año 2023, mientras que la contaminación por arsénico fue en el periodo del último año en estudio, esto hizo que el grado de contaminación por el índice de metales pesados HPI arroje un valor de 40,19 con una calificación para este punto de calidad de agua con un riesgo bajo apto para consumo con monitoreo regular.

Tabla 31. Determinación del grado de contaminación con el índice de metales pesados (HPI) punto PU10.

			PU10			
PARAMETROS	UNIDAD	CONSUMO Y FLORA, FAUNA	2022	2023	2024	PROMEDIO
Arsénico	mg/L	0,05	0,0005	0,0005	0,0068	0,003
Hierro	mg/L	0,3	0,77	1,3	0,181	0,750

PERIODO 2022 - 2024						
Vi	Si	K	Wi	Qi	Wi*Qi	HPI
0,0026	0,05	1	20	5,2	104	
0,750	0,3	1	3,333	250,111	833,704	
TOTAL (Wi)=			23,333	TOTAL (Wi*Qi) =		937,704
						40,187

Fuente: Autor

Para tener una mejor evaluación de la calidad del agua por contaminación de metales pesados se realizó el grado de contaminación con el índice de metales pesados (HPI) como se muestra en la tabla 32, para toda la normativa vigente Nacional e Internacional con el fin de poder obtener todos los valores resultantes y así saber la clasificación de calidad de agua con un mejor índice de riesgo que tienen los ríos Cutuchi y Pumacunchi.

Tabla 32. Grado de contaminación con el índice de metales pesados (HPI) para toda la normativa vigente Nacional del TULSMA.

Muestra	TULSMA Consumo tratamiento convencional	TULSMA Consumo por desinfección	TULSMA Preservación flora y fauna agua dulce	TULSMA Uso agrícola	COLORES DEL NIVEL DE RIESGO
PERIODO 2022-2024					
CU04	7,85	26,49	26,49	3,12	SIN RIESGO
CU05	23,44	49,49	49,49	10,72	RIESGO MUY BAJO
CU06	527,22	574,89	574,89	266,6	RIESGO BAJO
PU09	7,78	25,75	25,75	3,11	RIESGO MUY ALTO
PU10	8,53	40,19	40,19	2,84	RIESGO CRÍTICO

Fuente: Autor

Como se pudo evidenciar en la Tabla 32 el mayor riesgo de todos los puntos de muestreo realizados se encuentra en el punto (CU06) ya que presenta los índices de calidad de agua por los metales pesados hierro y arsénico excesivamente grandes haciendo que esta agua con una carga tóxica muy elevada, sea altamente peligrosa y no apta para ningún uso sin remediación. Mientras que el punto que representa un riesgo moderado es el punto (CU05) en donde esta agua tiene concentraciones significativas de metales pesados, y requieren tratamiento antes del consumo humano, mientras que para ser usado en agricultura no requiere mayor grado de tratamiento. Los demás puntos (CU04, PU09, PU10) presentan concentraciones bajas de metales pesados hierro y arsénico por ello el riesgo es muy bajo ya que son aguas con trazas de metales pesados que se encuentran dentro de los niveles seguros para el ser humano que requiera de cualquier tipo de uso.

4.5. Evaluación hidrogeoquímica

Es importante mencionar que para la evaluación hidrogeoquímica es de vital importancia tener datos iónicos de acuíferos subterráneos aldeanas a los puntos de contaminación de

flujos superficiales, ya que para poder utilizar los diagramas de clasificación iónica del agua es importante correlacionar estos datos.

Es primordial para una correcta evaluación de la hidrogeoquímica de las cuencas en estudio, el tener información sobre la calidad del agua subterránea de la sierra regional, así como tener en cuenta la composición química y sus diferencias del agua en distintos sistemas de acuíferos, al igual que calidad ambiental de las aguas subterráneas.

Por esta razón se pudo obtener información del Plan Nacional de la Gestión Integrada e Integral de los Recursos Hídricos de las Cuencas y Microcuencas Hidrográficas de Ecuador, en donde señala que el valor de su pH de las aguas subterráneas esta entre 6,32-9,94, mientras que para la conductividad tiene valores de entre 153-1921 us/cm, valores de oxígeno disuelto con promedio de 4,13mg/L valores que apoyan a ser aplicables para uso tanto agrícola como ganadero, es muy importante señalar que las aguas subterráneas de la ciudad de Latacunga se encuentra contaminada con Hierro (Fe³⁺) con cantidades altas tanto al norte como al sur de la ciudad, por ende no es apta para ningún uso[52]. Mostrando así una clara dispersión por la lixiviación del hierro por el agua lluvia que disuelve minerales ricos en hierro de la zona de la Provincia de Cotopaxi, así como el uso indebido de fertilizantes que alteran el pH del agua subterránea permitiendo que el hierro sea soluble.

A continuación, para conocer los parámetros físicos y la química de iones mayores y menores presentes en el agua de los ríos Cutuchi y Pumacunchi se utilizó la información proporcionada por la Prefectura de Cotopaxi. En la tabla 33 se muestra detallados los resultados obtenidos de las muestras de agua.

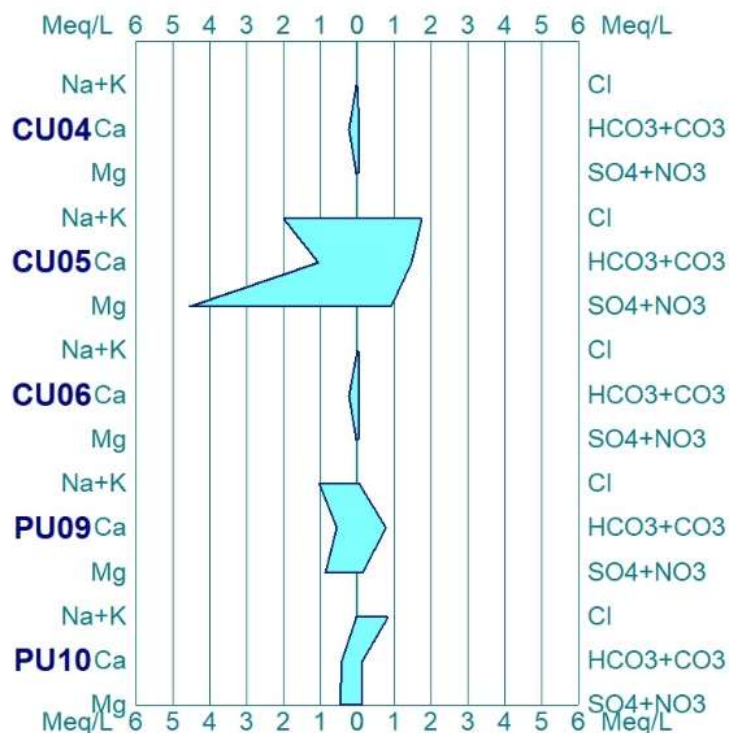
Tabla 33. Análisis iónico de los puntos de muestreo del río Cutuchi y Pumacunchi.

DATOS CUTUCHI Y PUMACUNCHI										CU04	CU05	CU06	PU09	PU10
Parámetros	CU04	CU05	CU06	PU09	PU10	Peso Molecular (g/mol)	Carga eléctrica (eq/mol)	Peso equivalente (mg/meq)	Equivalente (meq/L)					
CATIONES										CATIONES				
Calcio (Ca ²⁺)	88,9	95,2	110,5	59,7	97,6	40,08	2	20,04	4,44	21,46	5,15	11,59	8,42	
Magnesio (Mg ²⁺)	7,6	34,59	18,3	3,5	62,5	24,31	2	12,155	0,63	55,32	0,33	10,58	5,91	
Sodio (Na ⁺)	10	10	9,2	3,6	10	22,99	1	22,99	0,43	22,99	0,40	9,00	1,11	
Potasio(K ⁺)	3	3	3	2	2	39,1	1	39,1	0,08	39,10	0,08	26,07	0,08	
ANIONES										ANIONES				
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	283,7	420,8	348,1	188,9	534,2	61	1	61	4,65	90,48	3,85	49,10	10,88	

4.5.2. Diagrama de Stiff

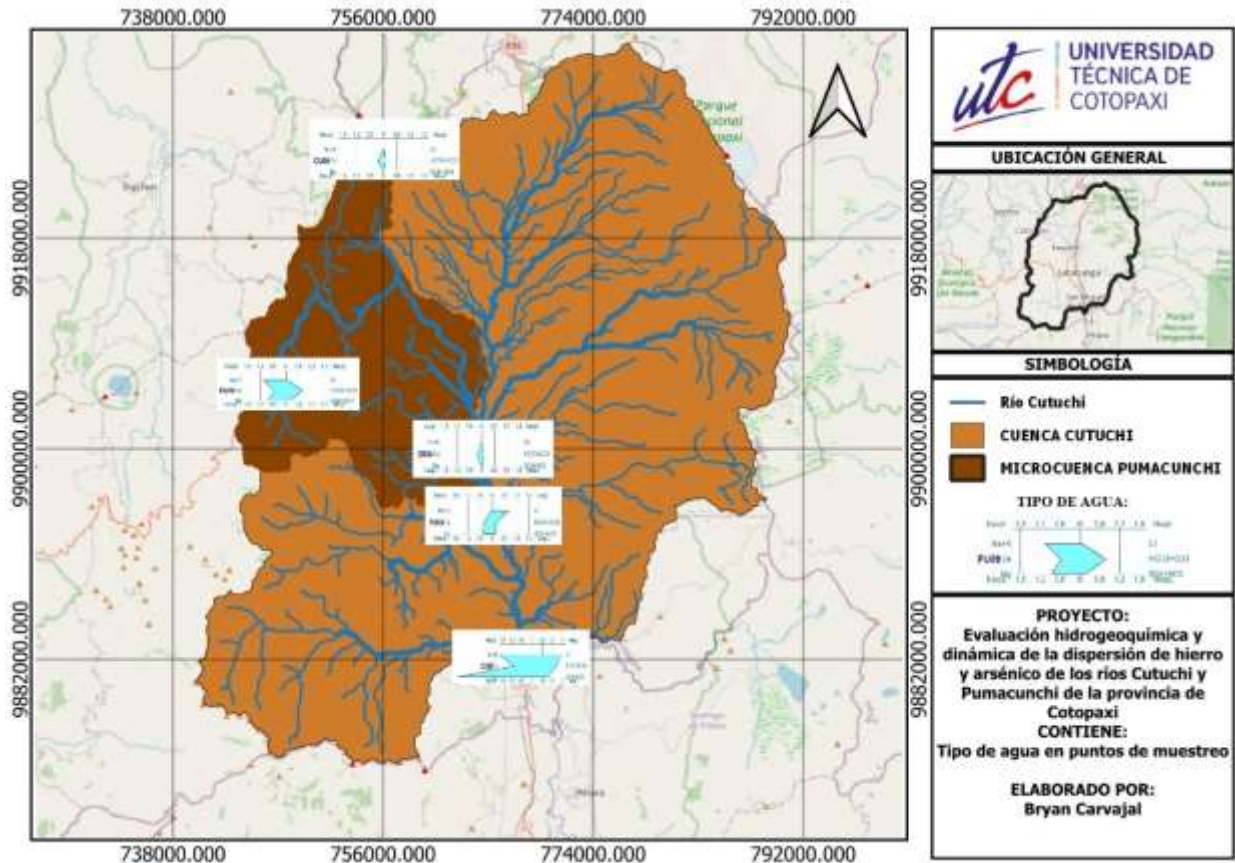
En la Figura 10, se representa las tendencias iónicas del agua superficial captada por los puntos de muestreo que se representan en el diagrama de Stiff, en donde se observa que las muestras que presentan mayor concentración de hierro y arsénico (CU06 y PU09) muestran patrones más grandes, reflejando una concentración con mayor predominancia en sales disueltas y diversificaciones en los cationes/aniones.

Particularmente la muestra del punto CU06 muestra una mayor concentración de calcio y bicarbonato, lo que podría estar ligado a una mayor interacción agua-roca que tiene procesos de disolución de carbonatos que hacen que se movilen los metales pesados.



Fuente: Autor

Figura 10. Diagrama de Stiff de las muestras de agua superficial



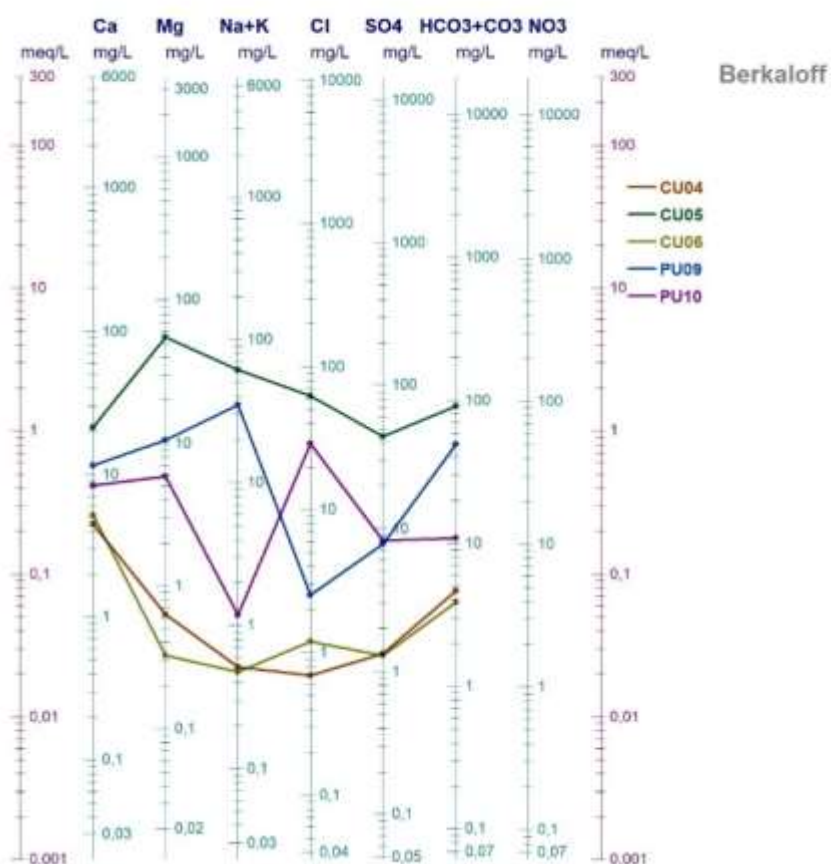
Fuente: Autor

Figura 11. Mapa de tipo de agua de puntos de muestreo.

4.5.3. Diagrama de Schöeller – Berkaloff

La Figura 12 está representada para corroborar la información hidrogeoquímica anterior, visualizando la evolución de los iones en un formato logarítmico, en donde muestra los puntos de muestreo de aguas superficiales tienen una gran diferencia lo cual puede estar asociada a la evaluación hidrogeoquímica del agua en contacto con diferentes materiales geológicos.

La muestra CU06 presenta una elevación en la curva de calcio, bicarbonato y sulfato, por lo que se considera que está relacionado con la disolución de carbonatos y la posible influencia de aguas subterráneas más mineralizadas en la zona. El aumento de sulfatos en CU06 y PU09 implica que la oxidación de minerales sulfatados (como la pirita), favorece a la liberación de hierro y arsénico, por esto en presencia de condiciones reductoras, el agua moviliza el hierro que también transporta consigo arsénico absorbido en óxidos de hierro.



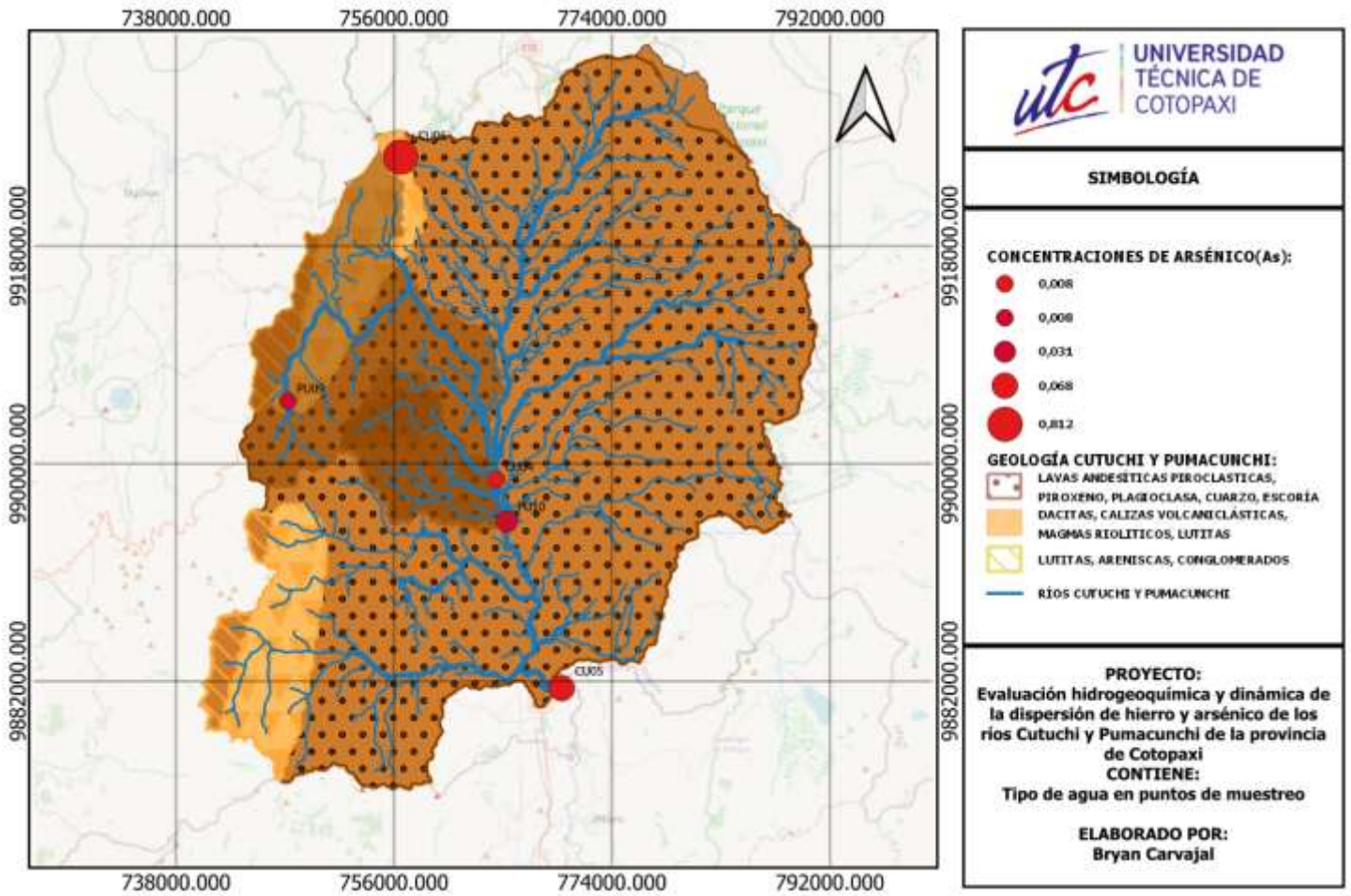
Fuente: Autor

Figura 12. Diagrama de Schöeller – Berkaloff para las muestras de agua.

4.6. Fuentes de contaminación

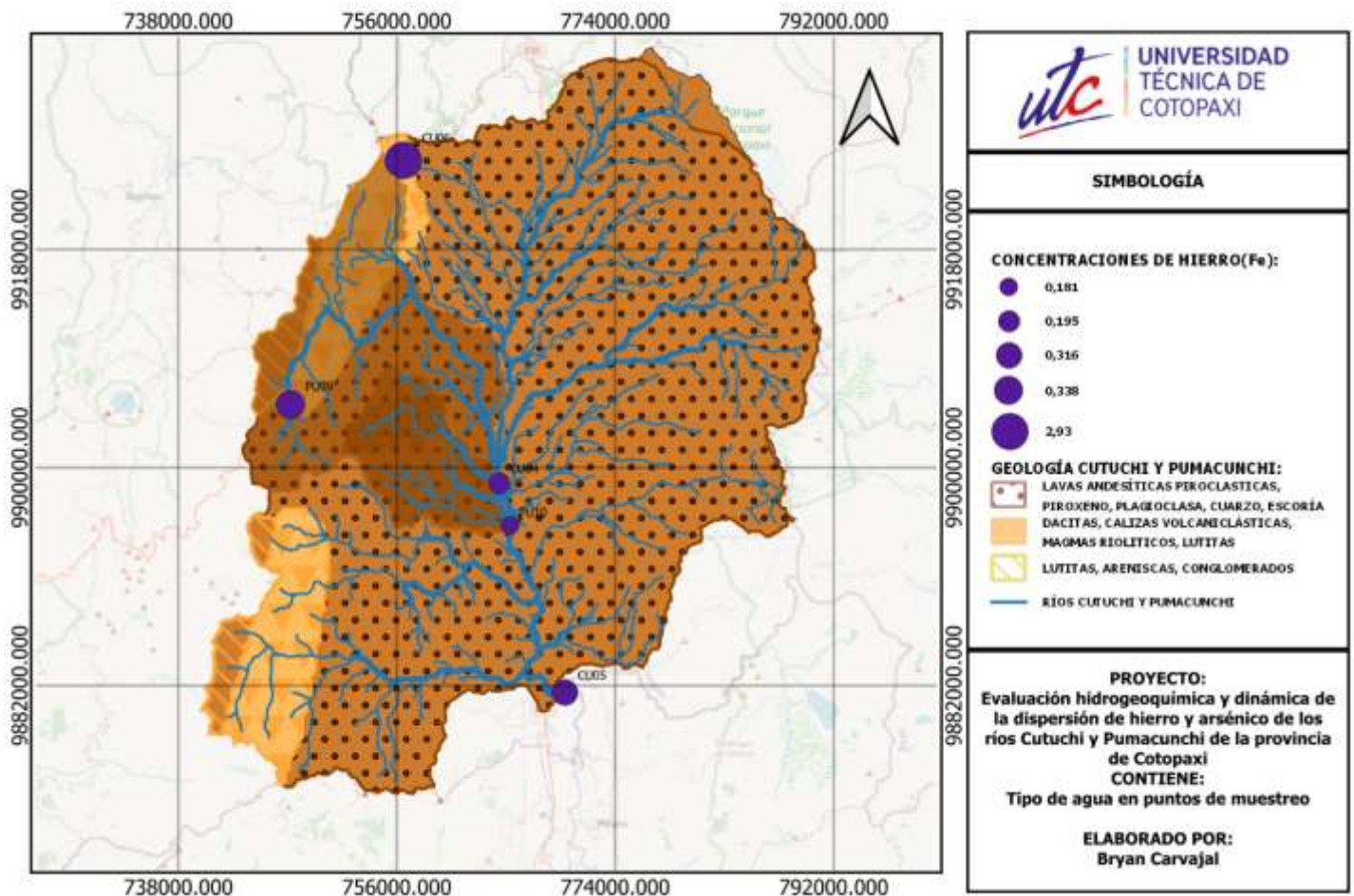
4.6.1. Contaminación natural

A continuación, se presenta la figura 13 y 14 de las concentraciones de hierro (Fe) y arsénico (As) en la geología que pertenece a cada uno de los puntos de muestreo para así poder correlacionar la geología de la zona y la composición química de los suelos con estos metales y así junto con los resultados de los niveles que se encuentran contaminados los ríos, saber el porcentaje de lixiviación que presenta cada punto cada punto.



Fuente: Autor

Figura 13. Concentración de hierro por la geología en los puntos de muestreo.



Fuente: Autor

Figura 14. Concentración de hierro por la geología en los puntos de muestreo.

Como se puede evidenciar la tabla 34, en los puntos CU06 y PU09 existe más concentraciones de Hierro en el suelo lo cual se relaciona estrechamente con los niveles de contaminación en estos puntos de muestreo, debido a esto en las partes altas de la cuenca y la microcuenca se encuentran con niveles que sobrepasan los límites permisibles y por ello la mayor contaminación de metales pesados es debido a la geología natural de la Provincia de Cotopaxi.

Tabla 34. Evaluación hidrológica de la relación de la composición química de los suelos de las zonas con respecto a los datos de muestreo, obteniendo el porcentaje de lixiviación de cada punto.

PUNTOS DE MUESTREO	GEOLOGÍA	COMPOSICION QUIMICA	TOTAL ARSÉNICO (ppm)	TOTAL HIERRO (ppm)	MUESTRA DE ARSENICO	MUESTRA DE HIERRO	%LIXIVIACIÓN (AS)	%LIXIVIACIÓN (FE)
CU04	Lavas andesíticas	SiO2 Al2O3 FeO Fe2O3	0,1*	30*	0,008	0,195	13	154
CU05	Lavas andesíticas	SiO2 Al2O3 FeO Fe2O3	0,1	30	0,013	0,316	8	95
CU06	Dacitas	SiO2 Al2O3 FeO Fe2O3	0,5	400	0,812	2,93	1	137
PU09	Dacitas	SiO2 Al2O3 FeO Fe2O3	0,5	400	0,008	0,338	63	1183
PU10	Lavas andesíticas	SiO2 Al2O3 FeO Fe2O3	0,1	30	0,048	0,181	2	166

Fuente: Autor

En el presente estudio se ha hecho hincapié en la importancia de la contaminación del agua, el mismo que ha sido un problema que se origina por factores naturales y antropogénicos. En el año 2022 y 2023 el programa Yaupak Wasi de la Prefectura de Cotopaxi ha evidenciado la presencia de metales pesados como el hierro (Fe) y arsénico (As) en la cuenca del río Cutuchi y la microcuenca del río Pumacunchi, donde se realizaron varios muestreos. No obstante, para comprender las consecuencias de estos hallazgos, es crucial diferenciar entre las fuentes de contaminación naturales, como: erosión de suelos y actividades hidrotermales, así como, las fuentes antropogénicas, derivadas de la contaminación doméstica, agricultura y ganadería,[53]. En el presente estudio se encontró la presencia de estos metales en los muestreos realizados, por lo que se busca determinar el origen de los contaminantes

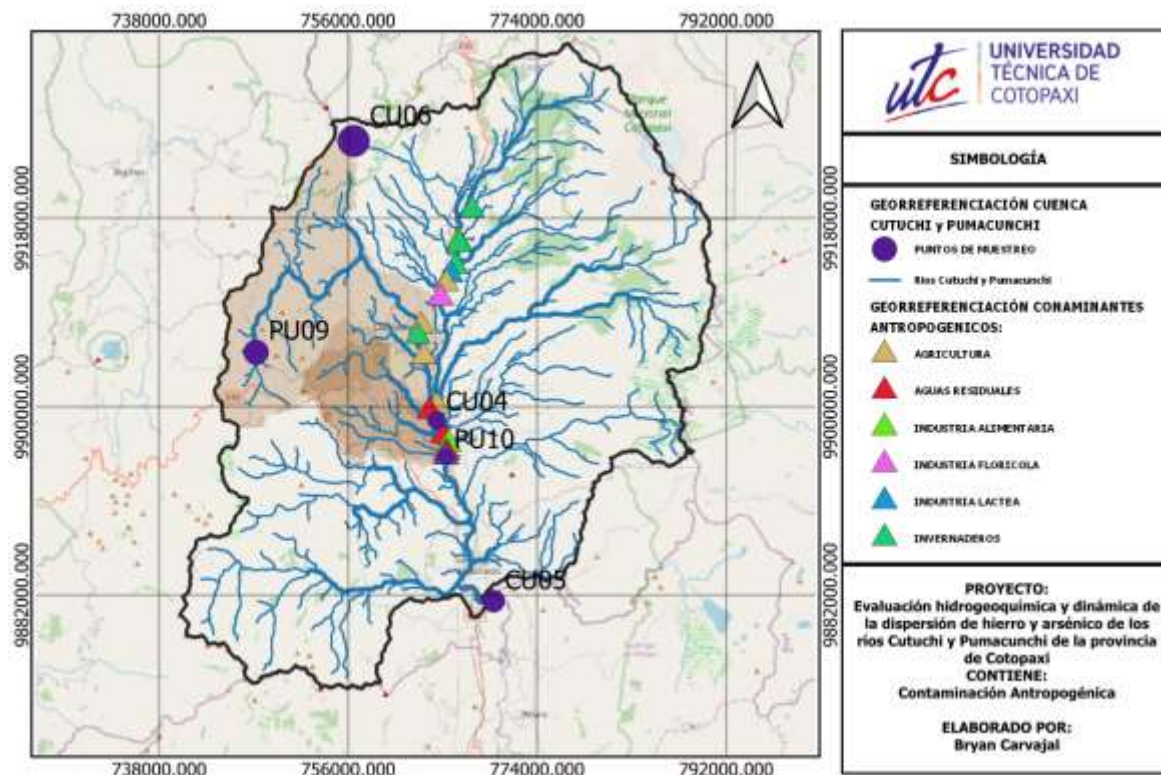
detectados, comparando los datos obtenidos en el monitoreo con estudios previos y referencias bibliográficas que permitan comprobar la veracidad del presente trabajo.

Una de las fuentes naturales de contaminación en la cuenca del río Cutuchi y micro cuenca del río Pumacunchi, es la actividad hidrotermal, en la zona alta de los Ilinizas, esto es porque las aguas termales pueden liberar minerales y metales pesados, tales como (Fe) y (As), los que por el proceso natural del río son transportados a través de sus corrientes[54]. Esto explica la presencia de estos metales en los puntos de monitoreo seleccionados. También es importante considerar la erosión de suelos y la meteorización de rocas volcánicas como lo son las calizas volcaniclásticas que se encuentran como geología de la zona visualizado en la Figura #, las que contribuyen a la liberación de (As) y otros metales pesados en el agua, por la descomposición de las rocas que contienen este tipo de minerales. Son factores a considerar, ya que estamos hablando de regiones volcánicas, como lo es la provincia de Cotopaxi, cosa que constituye un rasgo natural del ecosistema [55].

Si bien comprendemos que las fuentes naturales explican la presencia de ciertos contaminantes, el factor determinante en el deterioro de la calidad del agua, tanto en la cuenca del río Cutuchi como en la microcuenca del río Pumacunchi, es sin duda es la presencia humana y sus distintivas actividades, los que producen la alteración natural de (Fe), (As) y otros metales pesados.

Mientras que, para los resultados obtenidos en 2024, la presencia de (Fe) y (As) en los puntos de monitoreo se correlacionan directamente con las variaciones de las concentraciones de estos metales pesados, siendo la zona alta de los Ilinizas las más pronunciadas, específicamente en el punto CU06, el que coincide con la presencia de actividad hidrotermal lo que refuerza la hipótesis que la contaminación natural también es un factor para la calidad del agua. Para el (As) la variación de las concentraciones de este metal es constante con valores bajos, nos indica que a pesar de que este metal esté presente en el agua, su impacto ambiental en comparación con otros contaminantes es menor en concentración, no obstante, el aumento significativo de (Fe) si requiere atención inmediata para evitar impactos negativos a dilatado plazo en la salud de la población y los ecosistemas acuáticos.

4.6.2. Fuentes de contaminación Antropogénica



Fuente: Autor

Figura 15. Contaminación antropogénica para el Arsénico (As), aguas arriba de los puntos de muestreo.

Comenzando con la expansión urbana que afectan negativamente la calidad de agua en las zonas que, al no tener un sistema de tratamiento de aguas residuales, estos son causantes del aumento en la carga contaminante en estos cuerpos hídricos. Latacunga y Salcedo, al no tener tratamientos adecuados de descarga de aguas residuales incrementan la concentración de metales pesados en los ríos cercanos [19].

De igual modo la agricultura intensiva en zonas cercanas a los ríos Cutuchi y Pumacunchi, ha introducido una carga contaminante considerable por el uso de fertilizantes y pesticidas, estos químicos se filtran en las fuentes de agua, subterráneas y superficiales, que contribuyen al aumento de metales pesados. Es un factor relevante en el análisis, debido a que, el (As) detectado en ciertos puntos del muestreo podrían estar vinculados con el uso de agroquímicos en los cultivos cercanos a las zonas [3].

La ganadería también es otra actividad que afecta a la calidad del agua en la región, dado que generan una alta concentración de materia orgánica en el agua, que promueve la proliferación

de bacterias, afectando la salud humana y animal por usar el agua tanto para consumo como para riego; la eutrofización, también es otro factor que provoca la proliferación excesiva de algas lo que la cantidad de oxígeno se reduce en el agua y afecta directamente la fauna acuática; y alteración del pH hace que el agua se vuelva más ácida o alcalina, según las condiciones del medio ambiente y el tipo de estiércol, que sin duda, alteraran el equilibrio ecológico[53].

Los resultados que se obtuvieron en los años 2022 y 2023 mostraron un aumento en la concentración de (Fe) en la mayoría de los puntos de monitoreo, mismo que son superiores a los valores permitidos por la normativa del TULSMA (1.0 mg/L) lo que indica que las actividades antropogénicas, como la expansión urbana y la agricultura intensiva, aportan de forma directa el aumento de la carga contaminante por metales pesados en las cuencas de los ríos Cutuchi y Pumacunchi, a pesar de que la concentración de (As) se mantuvo constante, excepto en el punto de Angamarca en 2023, en el que se registró una leve variación, lo mismo que se podrían explicar por factores geológicos y antropogénicos que modifican las concentraciones de metales pesados. Es comparable con el estudio de Ortiz (2020) y Orozco (2022), mencionan que las concentraciones presentes en la cuenca del río Cutuchi y Pumacunchi son significativamente menores [50] [55]; destacando la importancia de continuar con los monitores para establecer patrones de contaminación e implementar medidas de remediación por la importancia de los ríos al ser usados para el consumo y riego. es crucial considerar que la contaminación por estos metales no solo depende de las fuentes naturales, sino también de las prácticas humanas que alteran el ecosistema acuático.

5. CONCLUSIONES

- El análisis físico-químico de las muestras de agua señaló que las concentraciones de hierro (Fe) y arsénico (As), en zonas cercanas a actividades hidrotermales, como agrícolas y urbanas, muestran una correlación entre la geología de la cuenca del río Cutuchi y micro cuenca del río Pumacunchi, con niveles de contaminación por la erosión volcánica y presencia de rocas calizas volcanoclásticas de manera natural, mientras que las actividades humanas como la agricultura, aguas residuales de zonas urbanas, industrias alimentarias, florícolas y lácteas e invernaderos que incrementan

la concentración de estos metales debido al uso excesivo de pesticidas, fertilizantes así como el incorrecto tratamiento de sus aguas residuales.

- La georreferenciación de los puntos de monitoreo permitió identificar áreas vulnerables a la contaminación por (Fe) y (As). La metodología utilizada con QGIS facilitó la delimitación de las zonas afectadas, lo que permitió una planificación organizada para futuras investigaciones.
- Las muestras recolectadas en los periodos 2022, 2023 y 2024 evidenciaron los niveles altos de (Fe) y (As) en varias zonas, con concentraciones superiores a los límites permitidos por el TULSMA, especialmente en áreas que se encuentran bajo la influencia hidrotermal y actividades agrícolas, lo que confirma que el problema y la necesidad de medidas inmediatas para su control.
- El análisis comparativo entre las concentraciones detectadas y los estándares de calidad de agua del TULSMA, así como del EPA y la norma INEN1108 confirma que el (Fe) supera los límites permisibles en varios puntos del muestreo, mientras que el (As) se mantuvo constante. Esta información sugiere que las actividades humanas y la geología influyen directamente proporcional en la contaminación del agua y que sería importante abordar ajustes en la normativa vigentes a la situación de regiones con las mismas características.
- La evaluación basada en los diagramas hidrogeoquímicos con los puntos de muestreo permitió evidenciar de mejor manera la relación entre la química del agua y la contaminación por hierro (Fe) y arsénico (As), en donde expresa firmemente que la mayor concentración de contaminación es debido a las fuentes naturales geológicas que presentan las zonas altas de la provincia de Cotopaxi, permitiendo tomar decisiones más puntuales sobre el manejo del recurso hídrico.

6. RECOMENDACIONES

- Implementar programas de monitoreo continuo en periodos anuales para evaluar la evolución de la calidad de estos cuerpos de agua y detectar las variaciones en la concentración de los metales pesados.
- Desarrollar estrategias de biorremediación y regulaciones más estrictas para reducir el de impacto que causan las actividades humanas en la calidad del agua.

- Promover campañas de conciencia dirigidas a la población local sobre la importancia del uso responsable del agua y su protección contra fuentes antropogénicas.
- Mantener actualizada la base de datos de georreferenciación con nuevos puntos de muestreo para mejorar la precisión del análisis de contaminación.
- Utilizar la metodología descrita en el presente estudio para tener resultados más precisos.
- Complementar el análisis de metales pesados con estudios toxicológicos para la evolución del impacto en la salud humana como en los ecosistemas acuáticos.
- Establecer medidas regulatorias estrictas para la gestión de actividades antropogénicas que contribuyan al aumento de metales pesados en el agua.
- Integrar datos de utensilios sensoriales remotos y sistemas de información geográfica para mejorar la detección de contaminantes a tiempo.
- Usar la presente información como punto de partida para que las comunidades vecinas a estos ríos puedan solicitar apoyo con el mantenimiento de las cuencas a los organismos municipales y provinciales.

7. REFERENCIAS

- [1] C. Molina, “EVALUACIÓN DE FUENTES PUNTUALES DE CONTAMINACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO CUTUCHI EN EL SECTOR LA ESTACIÓN DEL CANTÓN LATACUNGA PROVINCIA DE COTOPAXI.,” p. 79, 2022, Accessed: Jan. 15, 2025. [Online]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/28220>
- [2] H. Bombón, “ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO ‘CUNCHIBAMBA’, AMBATO - TUNGURAHUA,” Aug. 2018.
- [3] M. A. Riofrío Guevara, Y. V. Mogro Cepeda, B. D. Carvajal Jiménez, B. J. Cando Sangucho, and A. Y. Jacho Lugmaña, “El río Cutuchi, contaminante que fluye en nuestra sociedad y la afecta,” *RECIMUNDO*, vol. 8, no. Especial, pp. 51–60, Oct. 2024, doi: 10.26820/recimundo/8.(especial).octubre.2024.51-60.
- [4] Olano-Arévalo, Roydichan, Tuesta-Casique, Angel, and A.-A. Belén, “Artículo original Coagulation effect-flocculation in removal of iron and manganese in aquifer,” *Rev. Amaz. Cienc. Ambient. Ecol*, vol. 2, no. 1, 2023, doi: 10.51252/reacae.v2i1.e464.
- [5] A. Cunguán and B. Gavilanez, “TRAZABILIDAD MICROBIOLÓGICA EN SITIOS POCO MONITOREADOS Y CONTAMINADOS CON ARSÉNICO PROVENIENTE DE FUENTES NATURALES ENTRE LOS 3000 Y 3200 M.S.N.M., EN LA PARROQUIA DE CANCHAGUA, PROVINCIA DE

- COTOPAXI, AÑO 2022,” pp. 1–120, 2022, Accessed: Jan. 15, 2025. [Online]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7119>
- [6] MedlinePlus, “Prueba de sangre de metales pesados.” Accessed: Feb. 04, 2025. [Online]. Available: <https://medlineplus.gov/spanish/pruebas-de-laboratorio/prueba-de-sangre-de-metales-pesados/>
- [7] MedlinePlus, “Arsénico,” *Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades*, Jan. 2021, Accessed: Feb. 04, 2025. [Online]. Available: <https://medlineplus.gov/spanish/arsenic.html>
- [8] Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, “ToxFAQsTM: Arsénico (Arsenic).” Accessed: Feb. 04, 2025. [Online]. Available: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts2.html
- [9] M. B. Aguilar and Y. Castillo, “ISLAS FLOTANTES ARTIFICIALES CON LA ESPECIE ACHIRA (*Canna indica*) COMO ALTERNATIVA PARA LA REMOCION DE CROMO Y COLIFORMES FECALES EN AGUA PROCEDENTE DEL RIO CUTUCHI,” pp. 1–78, 2019, Accessed: Jan. 15, 2025. [Online]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7119>
- [10] L. Guanoquiza Tello and A. Antúnez Sánchez, “contaminación ambiental en los acuíferos de Ecuador.,” *Ciencia Sociales y Económicas*, vol. 3, no. 1, pp. 110–169, Jun. 2019, doi: 10.18779/csye.v3i1.285.
- [11] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, “NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES : RECURSO AGUA,” 2018. Accessed: Jan. 15, 2025. [Online]. Available: <http://www.registroficial.gov.ec/>
- [12] F. Rodriguez, A. Gomes de Albuquerque de Freitas, R. Viera, M. Costa de Freitas, and L. Marqués, “Investigación sobre la concentración de Hierro en el suministro público de agua del municipio de Breves (PA),” pp. 1–26, 2023, doi: 10.33448/rsd-v12i1.39788.
- [13] N. Aguirre, “MANUAL PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS,” Aug. 2007.
- [14] V. Cango, “FORMULACIÓN PARTICIPATIVA DEL PLAN DE MANEJO DE LA MICROCUENCA CAYAMATZA ABASTECEDORA DE AGUA PARA LA CIUDAD DE EL PANGUI, CANTON EL PANGUI.,” Zamora, 2016.
- [15] CEPAL, “GUÍA ANÁLISIS Y ZONIFICACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL,” Jun. 2013, Accessed: Jan. 19, 2025. [Online]. Available: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/fc859ac9-4c28-4992-aa83-2459860b32e3/content>
- [16] M. Harumi, Fonseca Homero, and L. Américo, “Uso do software livre QGIS (Quantum GIS) para ensino de Geoprocessamento em nível superior,” Mar. 2016, Accessed: Jan. 19, 2025. [Online]. Available: <https://revistasipgh.org/index.php/rcar/article/view/345/328>
- [17] D. Baroja, D. Mejía, A. Cevallos, and G. Puetate, “Sistemas de información geográfica, aplicaciones y ejercicios con ARCGIS,” Apr. 2020, Accessed: Jan. 19, 2025. [Online]. Available: <https://puceinvestiga.puce.edu.ec/es/publications/sistemas-de-informaci%C3%B3n-geogr%C3%A1fica-aplicaciones-y-ejercicios-con->

- [18] O. Conrad *et al.*, “System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4,” 2007, Accessed: Jan. 19, 2025. [Online]. Available: <https://gmd.copernicus.org/articles/8/1991/2015/gmd-8-1991-2015.html>
- [19] C. Guanotásig Molina, “EVALUACIÓN DE FUENTES PUNTUALES DE CONTAMINACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO CUTUCHI EN EL SECTOR LA ESTACIÓN DEL CANTÓN LATACUNGA PROVINCIA DE COTOPAXI,” Quito, 2022.
- [20] P. Llerena Mayorga, “Comportamiento iónico-pluvial en la cuenca del Cutuchi durante invierno y verano,” 2013.
- [21] S. Del Pozo and L. López, “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA MICROCENCA DEL RÍO PUMACUNCHI, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO 2022’ ,” Aug. 22AD, Accessed: Jan. 23, 2025. [Online]. Available: <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/64791ac0-0f2a-47c9-ab0d-619554a67f11/content>
- [22] R. Olano, A. Tuesta, and B. Azabache, “Efecto de coagulación-floculación en remoción del hierro y manganeso en acuífero,” Perú, pp. 1–12, Jan. 01, 2023. Accessed: Jan. 15, 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.51252/reacae.v2i1.e464>
- [23] A. Barrera and J. Cepeda, “EVALUACIÓN ESPACIO–TEMPORAL DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CUTUCHI EN EL CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERÍODO 2019- 2020,” Latacunga, Feb. 2020. Accessed: Nov. 24, 2024. [Online]. Available: <https://repositorio.utc.edu.ec/items/5ccf0f69-b31d-4926-8d16-99dccc4c8583/full>
- [24] L. Barahona, “IDENTIFICACIÓN DE LOS FOCOS DE CONTAMINACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES EN EL RÍO PUMACUNCHI, EN EL TRAMO QUE PERTENECE A LAS COORDENADAS, DESDE: 17, 756997 E y 9913926 N cota 3089 msnm, HASTA: 17, 762590 E y 9906512 N cota 2882 msnm, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI’.,” 2013. Accessed: Nov. 24, 2024. [Online]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/2738>
- [25] Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, “(INAMAnuario meteorológico 2024. INAMHI.” Accessed: Feb. 16, 2025. [Online]. Available: <https://www.inamhi.gob.ec/>
- [26] MINISTERIO DEL AMBIENTE, “Plan Integral ambiental Nacional II(PIANII),” May 2013.
- [27] Organización Mundial de la Salud, “Arsénico.” Accessed: Oct. 23, 2024. [Online]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
- [28] CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR, “Decreto Legislativo 0 Registro Oficial,” 2008. [Online]. Available: www.lexis.com.ec
- [29] M. Chan, “¿QUÉ ES LA OMS?,” 2015. Accessed: Feb. 16, 2025. [Online]. Available: https://www.unaids.org/sites/default/files/media_asset/WHO_es_1.pdf
- [30] EPA, “Cómo lograr la protección de la salud y el medioambiente.” Accessed: Feb. 16, 2025. [Online]. Available: https://www.epa.gov/system/files/documents/2023-12/meaningful-involvement-policy_eams-draft-final_10.25.2023_op_translations-spa_0.pdf

- [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] Presidencia de la República, “NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES : RECURSO AGUA,” 2015.
- [34] J. Abreu, “El Método de la Investigación,” Dec. 2014, Accessed: Jan. 23, 2025. [Online]. Available: <http://www.spentamexico.org/v9-n3/A17.9%283%29195-204.pdf>
- [35] R. Landeau, “Elaboración de trabajos de investigación ,” Mar. 2007, Accessed: Jan. 22, 2025. [Online]. Available: books.google.com.ec/books?id=M_N1CzTB2D4C&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false
- [36] D. Piestrak, *Los siete factores clave del marketing estratégico: la batalla competitiva*. 2007. Accessed: Jan. 23, 2025. [Online]. Available: <https://dokumen.pub/los-siete-factores-clave-del-marketing-estrategico-la-batalla-competitiva.html>
- [37] Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial, “Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cotopaxi 2025,” Jul. 2018.
- [38] D. M. Castro V., “CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO CUTUCHI,” Quito, Sep. 2022.
- [39] E. Por and C. Martínez, “Atlas socioambiental de Cotopaxi,” Quito, 2006.
- [40] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA, “ANUARIO METEOROLÓGICO N°52-2012,” Quito, 2012. Accessed: Nov. 24, 2024. [Online]. Available: https://dundeprecious.com/site/assets/files/12841/am_2012.pdf
- [41] U.S. EPA (Environmental Protection Agency), “METHOD 3005A ACID DIGESTION OF WATERS FOR TOTAL RECOVERABLE OR DISSOLVED METALS FOR ANALYSIS BY FLAA OR ICP SPECTROSCOPY,” Jul. 1992. Accessed: Jan. 25, 2025. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/3005a.pdf>
- [42] U.S. EPA., “Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods, Method 6010B: Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy,” Dec. 1996, Accessed: Jan. 25, 2025. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/sites/default/files/documents/6010b.pdf>
- [43] APHA (American Public Health Association)., “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Method 3120 B: Inductively Coupled Plasma (ICP) Method.,” 2023, doi: 10.2105/SMWW.2882.047.
- [44] O. Singh Brraich and S. Jangu, “Evaluation of Water Quality Pollution Indices for Heavy Metal Contamination Monitoring in the Water of Harike Wetland (Ramsar Site), India,” *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 5, no. 2, Feb. 2015, [Online]. Available: www.ijsrp.org
- [45] E. J. Abdullah, “Evaluation of Surface Water Quality Indices for Heavy Metals of Diyala River-Iraq,” Online, 2013. [Online]. Available: www.iiste.org
- [46] C. Chirinos Malaga, ““ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA Y CONTENIDO DE METALES PESADOS EN EL RÍO SAN JUAN,CERRO DE PASCO,”” Lima, 2022. Accessed: Jan. 26, 2025. [Online]. Available:

- <https://repositorio.lamolina.edu.pe/server/api/core/bitstreams/68ae5bc5-9651-4e64-91ab-ce33507a5419/content>
- [47] M. V. Capparelli *et al.*, “An integrative approach to assess the environmental impacts of gold mining contamination in the amazon,” *Toxics*, vol. 9, no. 7, Jul. 2021, doi: 10.3390/toxics9070149.
- [48] D. Ji, J. Ma, J. Xue, X. Wu, Z. Wang, and S. Wei, “Identifying groundwater characteristics and controlling factors in Jiaozhou Bay’s northern coastal region, China: a combined approach of multivariate statistics, isotope analysis, and field empirical investigations,” *Sci Rep*, vol. 14, no. 1, p. 23856, Dec. 2024, doi: 10.1038/s41598-024-75425-x.
- [49] A. O. Aveiga Ortiz, P. J. Noles Aguilar, F. Peñarrieta Macías, and E. Murgueitio Herrera, “Distribución de arsénico en agua superficial y sedimento en la cuenca del río carrizal, manabí - ecuador,” *Revista de la Sociedad Química del Perú*, vol. 86, no. 3, pp. 260–275, Sep. 2020, doi: 10.37761/RSQP.V86I3.299.
- [50] R. Orozco, “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA - ÍNDICE DE ARSÉNICO EN LA QUEBRADA RASUYACU EN LA PARROQUIA TOACASO DEL CANTÓN LATACUNGA,” 2022, Accessed: Feb. 16, 2025. [Online]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/838f91ea-5099-4125-b5fb-74175c7f48fe/content>
- [51] OMS, *Guidelines for Drinking-water Quality THIRD EDITION INCORPORATING THE FIRST AND SECOND ADDENDA Volume 1 Recommendations Geneva 2008 WHO Library Cataloguing-in-Publication Data*. 2008. Accessed: Jan. 27, 2025. [Online]. Available: https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-03/documents/guidelines_for_drinking_water_quality_3v.pdf
- [52] CISPDR, “PLAN NACIONAL DE LA GESTIÓN INTEGRADA E INTEGRAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LAS CUENCAS Y MICROCUENCAS HIDROGRÁFICAS DE ECUADOR,” Feb. 2016.
- [53] J. Aníbal, C. Sinchiguano, A. Córdova-Mosquera, J. Enrique, and C. Párraga, “CALIDAD DE AGUA EN RÍO CUTUCHI MEDIANTE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS, LATACUNGA, ECUADOR,” 2023. doi: https://doi.org/10.51260/revista_espamcien.cia.v14i2.413.
- [54] D. Castro, “Caracterización geológica e hidrogeológica de la cuenca alta del río Cutuchi,” Oct. 2022, Accessed: Feb. 16, 2025. [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23384>
- [55] P. Arias-Muñoz, M. A. Saz, and S. Escolano, “Estimation of soil erosion through the RUSLE model. Case study: upper-middle basin of Mira River in Andean-Ecuador,” *Investigaciones Geográficas*, no. 79, pp. 207–230, Jan. 2023, doi: 10.14198/INGEO.22390.

8. ANEXOS



Anexo 1. Caminata al punto CU06 cerca de los Ilinizas.



Anexo 2. Río Cutuchi en las faldas del Iliniza



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.



Anexo 6. Toma de muestras del punto PU10.



Anexo 7. Presencia de basura de altas concentraciones de Hierro y Arsénico.



Anexo 8. Presencia de ganado en el punto PUI0 que puede tener problemas de salud al ingerir agua contaminada de Hierro y Arsénico.



Anexo 9. Punto de muestreo CU05.



Anexo 10. Toma de muestras en el punto CU05.



Anexo 11. Filtrado de agua para no tener presencia de sólidos suspendidos o sedimentos en el agua para algún cambio en los resultados.



Anexo 12. Toma de muestras en el punto PU09.



Anexo 13. Muestras del punto PU09.



Anexo 14. Equipo de trabajo para a toma de muestras.



INFORME DE RESULTADOS

INF.DIV-FQ.1072631

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	BRYAN CARVAJAL
Dirección:	LATACUNGA
Teléfono:	0995726830

DATOS DE LA MUESTRA

Descripción:	Bryan Carvajal Rio Cutuchi 01/ conservante ácido nítrico (9.50am)		
Lote:	---	Contenido declarado:	1 L
Fecha de elaboración:	---	Fecha de vencimiento:	---
Fecha de recepción:	2024/12/13	Hora de recepción:	17:06:00
Fecha de análisis:	2024/12/17	Fecha de emisión:	2025/01/15
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 FISIQUÍMICO

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO INTERNO	MÉTODO DE REFERENCIA
⁵⁶ Hierro	2.93	mg/L	MFQ-103	EPA 3005 A, Rev. 01, 1992/EPA 6010 B, December 1996 Standard Methods Ed. 24, 2023, 3120 B
⁷⁵ Arsénico	0.812	mg/L	MFQ-106	EPA3005 A, Rev. 01, 1992 EPA 6010 B, December 1996 Standard Methods Ed. 24, 2023, 3120 B/ Espectroscopia de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado ICP

Nota 1: ⁵⁶ 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 puede 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 3 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



JORGE BRAZO N30-109 Y CRISTOBAL SANDOVAL - EL FINAR - QUITO - PICHINCHA - ECUADOR
(02) 330 0247, 330 0674, 095 825 0928, 099 428 8140 / inform@multianalityca.com

Desarrollado por MultySoft. Página 1/3

RFQ-T-3-01 | Edición N0: 12

Anexo 15. Informe de resultados de hierro y arsénico para el punto CU06 por parte del laboratorio Multianalityca S.A.

INFORME DE RESULTADOS

INF.DIV-FQ_107263a

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	BRYAN CARIJAJAL
Dirección:	LATACUNGA
Teléfono:	0995728830

DATOS DE LA MUESTRA

Descripción:	Bryan Carvajal Rio Cutuchi 02/ conservante ácido nítrico (6-40µm)		
Lote:	--	Contenido declarado:	1 L
Fecha de elaboración:	--	Fecha de vencimiento:	--
Fecha de recepción:	2024/12/13	Hora de recepción:	17:06:00
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.		

CÁRACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

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

RESULTADO FISCOQUÍMICO

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO INTERNO	MÉTODO DE REFERENCIA
¹¹⁵ Arsénico	0.031	mg/l	MPQ-106	EPA3005 A, Rev. 01, 1992 EPA 6010 B, December 1996 Standard Methods Ed. 24, 2023, 3120 8/ Espectroscopía de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado ICP

Nota 1: ¹¹⁵ Ensayo Subcontratado por N° SAE IEN-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 3 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 ítem 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 3 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 NEN-ISO/IEC 17025:2018).



Quím. Mercedes Parra
Jefe División Físico Químico - Instrumental



JORGE BRAZO-NBQ-ION Y CRISTÓBAL SANDOVAL - EL PÍJAR - QUITO - PICHINCHA - ECUADOR
(02) 320 0247, 320 0674, 095 305 0722, 099 408 8140 / inform@multianalityca.com

Desarrollado por Multisoft. Página 1/1

MPQ-7.8-01 / Edición: 02

Anexo 16. Informe de resultados de arsénico para el punto CU05 por parte del laboratorio Multianalityca S.A.

INFORME DE RESULTADOS

INF.DIV-FQ.107263b

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	BRYAN CARVAJAL
Dirección:	LATAJUNGA
Teléfono:	0995728830

DATOS DE LA MUESTRA

Descripción:	Bryan Carvajal Rio Cutachi 03F conservante ácido nítrico (3:50pm)		
Lote:	---	Contenido declarado:	1 L
Fecha de elaboración:	---	Fecha de vencimiento:	---
Fecha de recepción:	2024/12/13	Hora de recepción:	17:06:06
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 FISICOQUÍMICO

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO INTERNO	MÉTODO DE REFERENCIA
¹⁰² Arsénico	<0.008	mg/L	MFQ-106	EPA3005 A, Rev. 01, 1992 EPA 6010 B, December 1996 Standard Methods Ed. 24, 2023, 3120 B/ Espectroscopia de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado ICP

Nota 1: ¹⁰² Ensayo Subcontratado por N° SAF 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 IEN- ISO/REC 17025:2018).



Quím. Mercedes Parra
Jefe División Físico Químico -
Instrumental



JORGE ERAZO H50-108 Y CRISTOBAL SANDONAL - EL PIMAR - QUITO - PICHINCHA - ECUADOR
0021 330-0247, 330-0674, 025-880-0028, 099-428-8140 / inform@multianalityca.com

Desarrollado por MultySoft. Página 1/1

MFQ-TA-01 / Edición No: 12

Anexo 17. Informe de resultados de arsénico para el punto CU04 por parte del laboratorio Multianalityca S.A.

INFORME DE RESULTADOS

INF.DIV-FQ.107263c

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	BRYAN CARVAJAL
Dirección:	LATACUNGA
Teléfono:	0995728830

DATOS DE LA MUESTRA

Descripción:	Bryan Carvajal Rio Punacunchi 01 / conservante ácido nítrico (12:45pm)		
Lote:	---	Contenido declarado:	1 L
Fecha de elaboración:	---	Fecha de vencimiento:	---
Fecha de recepción:	2024/12/13	Hora de recepción:	17:06:00
Fecha de análisis:	2024/12/17	Fecha de emisión:	2025/01/08
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 FISICOQUIMICO

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO INTERNO	MÉTODO DE REFERENCIA
^{III} Arsénico	<0.006	mg/L	MFQ-106	EPA3005 A, Rev. 01, 1992 EPA 6010 B, December 1996 Standard Methods Ed. 24, 2023, 3120 B/ Espectroscopie de émission atomica con plasma inductivamente acoplado ICP

Nota 1: ^{III}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 NEN-ISO/REC 17025:2018).



Quim. Mercedes Parra
Jefe División Físico Químico -
Instrumental



JORGE BRAZO R50-109 Y CRISTÓBAL SANDOVAL - EL FINAS - QUITO - PICHINCHA - ECUADOR
(021) 330 0247, 330 0674, 095 885 0928, 099 428 8140 / inform@multianalityca.com

Desarrollado por NutySoft, Página 1/3

#FQ-7.9-01 (Edición 001) 12

Anexo 18. Informe de resultados de arsénico para el punto pu09 por parte del laboratorio Multianalityca S.A.

INFORME DE RESULTADOS

INF.DIV-FQ-107263d

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	BRYAN CARVAJAL
Dirección:	LATAKINGA
Teléfono:	0995728830

DATOS DE LA MUESTRA

Descripción:	Bryan Carvajal- Río Putacunchi (27) conservante ácido nítrico (05-15pm)		
Lote:	---	Contenido declarado:	1 L
Fecha de elaboración:	---	Fecha de vencimiento:	---
Fecha de recepción:	2024/12/13	hora de recepción:	17:06:00
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 FISCOQUÍMICO

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO INTERNO	MÉTODO DE REFERENCIA
Aséptico	0.008	mg/L	WFO-106	EPA3005 A, Rev. 01, 1992 EPA 8010 B, December 1996 Standard Methods Ed. 24, 2023, 3120 B/ Espectroscopia de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado ICP

Nota 1: "Aséptico" Ensayo Subcontratado por N° SAE LEM-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 ítem 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 GAD1 Criterios Generales Acreditación de Laboratorios de Ensayo y Calibración según NTE INEN- ISO/IEC 17025:2018).



Quím. Mercedes Parra
Jefe División Físico Químico - Instrumental



JORGE BRAZO HSC-108 Y CRISTOBAL SANDOVAL - EL PINAR - QUITO - PICHINCHA - ECUADOR
(02) 330 0247, 330 0674, 095 885 0928, 099 408 8140 / inform@multianalityca.com

Desarrollado por AutoSoft, Página 1/1

WFO-7.3-01 / Edición 30: 01

Anexo 19. Informe de resultados de arsénico para el punto pu10 por parte del laboratorio Multianalityca S.A.

INFORME DE RESULTADOS

INF.DIV-FQ.107263e

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	BRYAN CARVAJAL
Dirección:	LATAKUNGA
Teléfono:	0995728830

DATOS DE LA MUESTRA

Descripción:	Bryan Carvajal Rio Cutuchi 02/ conservante ácido nítrico (6-40pm)		
Lote:	---	Contenido declarado:	1 L
Fecha de elaboración:	---	Fecha de vencimiento:	---
Fecha de recepción:	2024/12/13	Hora de recepción:	17:06:00
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 FISIQUÍMICO

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO INTERNO	MÉTODO DE REFERENCIA
⁵⁹ Hierro	0.316	mg/L	MFQ-103	EPA 3005 A, Rev. 01, 1992EPA 6010 B, December 1996Standard Methods Ed. 24, 2023, 3120 B

Nota 1: ⁵⁹ 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 NEN-ISO/REC 17025:2018).



Quim. Mercedes Parra
Jefe División Físico Químico -
Instrumental



JORGE ERAZO 850-108 Y CRISTOBAL SANDOVAL - EL FINAS - QUITO - PICHINCHA - ECUADOR
0021 330 0247, 330 0674, 095 885 2922, 099 428 8340 / informes@multianalytica.com

Desarrollado por MultySoft, Página 121

MFQ-7.2-011 / Edición 02: 12

Anexo 20. Informe de resultados de hierro para el punto CU05 por parte del laboratorio Multianalytica S.A.

INFORME DE RESULTADOS

INF-DIV-FQ.107263F

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	BRYAN CARVAJAL
Dirección:	LATAJUNGA
Teléfono:	0995728830

DATOS DE LA MUESTRA

Descripción:	Bryan Carvajal Rio Cutachi 03' conservante ácido nítrico (3.50pm)		
Lote:	---	Contenido declarado:	1 L
Fecha de elaboración:	---	Fecha de vencimiento:	---
Fecha de recepción:	2024/12/13	Hora de recepción:	17:06:00
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
⁵² Hierro	0.195	mg/L	MPQ-103	EPA 3005 A, Rev. 01, 1992/EPA 6010 B, December 1996/Standard Methods Ed. 24, 2023, 3120 B

Nota 1: ⁵² 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 950-108 y CRISTOBAL SANDOVAL - EL FINAR - QUITO - PICHINCHA - ECUADOR
f(02) 330-0247, 330-0674, 095 305 0928, 095 428 0140 | info@multianalityca.com

Desarrollado por MultySoft. Página 1/1

RFO-T-B-01 / Edición No: 12

Anexo 21. Informe de resultados de hierro para el punto CU04 por parte del laboratorio Multianalityca S.A.



INFORME DE RESULTADOS

INF-DIV-FQ.107263g

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	BRYAN CARVAJAL
Dirección:	LATAJUNGA
Teléfono:	0995728830

DATOS DE LA MUESTRA

Descripción:	Bryan Carvajal Rio Pumaranchi 01 / conservante ácido nítrico (12:50µm)		
Lote:	--	Contenido declarado:	1 L
Fecha de elaboración:	--	Fecha de vencimiento:	--
Fecha de recepción:	2024/12/13	Hora de recepción:	17:06:00
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:	Característica	Olor:	Característica
Estado:	Líquido	Conservación:	Ambiente
Temperatura de la muestra:	Ambiente		

RESULTADO FISICOQUIMICO

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO INTERNO	MÉTODO DE REFERENCIA
¹¹² Hierro	0.338	mg/L	MFQ-103	EPA 3005 A, Rev. 01, 1992EPA 6010 B, December 1996Standard Methods Ed. 24, 2023, 3120 B

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).

Quím. Mercedes Parra
Jefe División Físico Químico - Instrumental



JORGE ERAZO #50-108 Y CRISTOBAL SANDOVAL - EL PINAR - QUITO - PICHINCHA - ECUADOR
(02) 330 0247, 330 0574, 095 825 0928, 095 428 0540 / inform@multianalityca.com

Desarrollado por MultySoft, Página 1/1

RFQ-Y-B-01 | Edición RD-12

Anexo 22. Informe de resultados de hierro para el punto pu09 por parte del laboratorio Multianalityca S.A.

INFORME DE RESULTADOS

INF.DIV-FQ.107263h

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	BRYAN CARVAJAL
Dirección:	LATAJUNGA
Teléfono:	0995728830

DATOS DE LA MUESTRA

Descripción:	Bryan Carvajal Rio-Pumacunchi 03r conservante ácido nítrico (05.20pm)		
Lote:	---	Contenido declarado:	1 L
Fecha de elaboración:	---	Fecha de vencimiento:	---
Fecha de recepción:	2024/12/13	Hora de recepción:	17:06:00
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 Hierro	0.181	mg/L	MFQ-103	EPA 3005 A, Rev. 01, 1992EPA 6010 B, December 1996 Standard Methods Ed. 24, 2023, 3120 B

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 items 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 B.4.2 CR GA01 Criterios Generales Acreditación de Laboratorios de Ensayo y Calibración según NTE-ISO/REC 17025:2018).



Quim. Mercedes Parra
Jefe División Físico Químico -
Instrumental



JORGE ERAZO 950-109 Y CRISTOBAL SANDOVAL - EL PNAAR - QUITO - PICHINCHA - ECUADOR
(021 330 0247, 330 0874, 025 925 0928, 099 426 8140 / informes@multianalityca.com)

Desarrollado por MultySoft. Página 1/1

MFQ-T-0-01 / Edición 02: 11

Anexo 23. Informe de resultados de hierro para el punto PUI10 por parte del laboratorio Multianalityca S.A.