



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA

**Calidad del agua del río Siete mediante análisis de metales pesados y su
relación con enfermedades en comunidades ribereñas**

**VERA BRAVO SHIRLEY MADELAINE
BIOQUIMICA FARMACEUTICA**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA

**Calidad del agua del río Siete mediante análisis de metales pesados
y su relación con enfermedades en comunidades ribereñas**

**VERA BRAVO SHIRLEY MADELAINE
BIOQUIMICA FARMACEUTICA**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA

TRABAJOS EXPERIMENTALES

**Calidad del agua del río Siete mediante análisis de metales
pesados y su relación con enfermedades en comunidades
riberañas**

**VERA BRAVO SHIRLEY MADELAINE
BIOQUIMICA FARMACEUTICA**

GONZALEZ CARRASCO VICTOR HUGO

**MACHALA
2024**



CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO SIETE MEDIANTE ANÁLISIS DE METALES PESADOS Y SU RELACIÓN CON ENFERMEDADES EN COMUNIDADES RIBEREÑAS

< 1%
Textos sospechosos

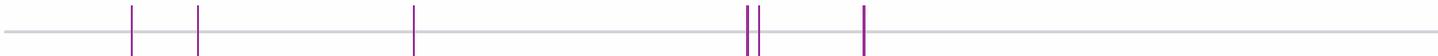
< 1% Similitudes
0% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
0% Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: Tesis_metales pesados.pdf
ID del documento: 5ad517485928dba13abe3af6d46024462fcb71b4
Tamaño del documento original: 819,65 kB
Autor: Shirley Madelaine Vera Bravo

Depositante: VICTOR HUGO GONZALEZ CARRASCO
Fecha de depósito: 12/2/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 12/2/2025

Número de palabras: 11.034
Número de caracteres: 73.282

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	www.insistec.ec https://www.insistec.ec/images/insistec/02-cliente/07-descargas/NTE INEN 2169 - AGUA. CALIDA...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
2	hdl.handle.net Evaluación de plomo y cadmio usando el bivalvo (Tagelus Dombe II)... https://hdl.handle.net/20.500.12990/9292	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (24 palabras)
3	132.248.9.195 Elaboración del manual de prácticas para la asignatura de técnicas a... http://132.248.9.195/ptb2011/septiembre/0673209/Index.html	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (18 palabras)
4	dx.doi.org CONTAMINACIÓN MINERA EN MACROFITAS ACUÁTICAS EN VACUNOS LA... http://dx.doi.org/10.26788/riepg.v7i2.208	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (10 palabras)

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

La que suscribe, VERA BRAVO SHIRLEY MADELAINE, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado Calidad del agua del río Siete mediante análisis de metales pesados y su relación con enfermedades en comunidades ribereñas, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

La autora declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



VERA BRAVO SHIRLEY MADELAINE

0705314979

RESUMEN

La actividad minera se ha considerado como una de las principales fuentes de contaminación por metales pesados en los cuerpos de agua, repercutiendo de manera directa a los ecosistemas y comunidades aledañas. En Ecuador, el incremento de la producción minera, particularmente en las pequeñas y medianas empresas, ha intensificado la presencia de estos contaminantes en ríos y fuentes hídricas esenciales para la población.

Los metales pesados como arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni) y plomo (Pb) poseen una alta densidad y la capacidad de formar complejos solubles en el agua, lo que facilita su transporte y acumulación en la cadena trófica, siendo una problemática que hoy en día han sido consideradas como sustancias altamente cancerígenas. Aunque es importante resaltar que el deterioro de las aguas no solo ha sido producido por la actividad minera, sino también por otras actividades antropogénicas, tales como, la industrialización, crecimiento poblacional y el manejo inadecuado de residuos. Ante este panorama, la presente investigación tiene como objetivo evaluar los niveles de contaminación por metales pesados en las aguas superficiales del río Siete, y su influencia en la salud de los pobladores.

El estudio evaluó la calidad del agua del río Siete y su relación con problemas de salud en la comunidad riverense. Se encuestó a 25 habitantes para determinar factores sociodemográficos y posibles afectaciones. Se realizaron análisis fisicoquímicos, incluyendo pH, temperatura, densidad, conductividad eléctrica y sólidos totales. Los resultados indicaron niveles alcalinos de pH (6,98-7,31), temperatura estable (23,3-23,5°C) y variaciones en densidad y conductividad eléctrica, sugiriendo contaminación por metales pesados. Se identificó que los niveles de mercurio superan los límites establecidos por las normativas TULSAM VI, mientras que las concentraciones de arsénico en las tres muestras (muestra 1; 0,0380 mg/L, muestra 2; 0,6905 mg/L y 1,72 mg/L), los cuales exceden los valores permisibles según la OMS e INEN 1108:2020. Estos hallazgos sugieren un potencial riesgo toxicológico para la población expuesta, ya que la bioacumulación de estos metales pesados puede generar efectos adversos a largo plazo.

Para el procesamiento de los datos se aplicaron herramientas estadísticas como Jamovi para validar los resultados y su posterior interpretación. Para el análisis fisicoquímico del agua, se utilizaron metodologías estandarizadas como APHA 4500-H+B para pH, ASTM D1429-13 para densidad y APHA 2510 B para conductividad eléctrica. La cuantificación de metales pesados se realizó mediante Espectrometría de Absorción

Atómica en laboratorios certificados. Los resultados confirman la relación entre la contaminación del agua y la salud comunitaria, destacando la necesidad de medidas urgentes de monitoreo y mitigación para reducir el impacto ambiental y salud de la población.

Palabras clave: Metales pesados, contaminación, impacto ambiental, agua, minería.

ABSTRACT

Mining activity has been considered one of the main sources of heavy metal contamination in bodies of water, with direct repercussions on the surrounding ecosystems and communities. In Ecuador, the increase in mining production, particularly in small and medium-sized companies, has intensified the presence of these contaminants in rivers and water sources that are essential for the population.

Heavy metals such as arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr), nickel (Ni) and lead (Pb) have a high density and the capacity to form water-soluble complexes, which facilitates their transport and accumulation in the trophic chain. Although it is important to highlight that water deterioration has not only been caused by mining activity, but also by other anthropogenic activities, such as industrialization, population growth and inadequate waste management. In view of this situation, the objective of this research is to evaluate the levels of heavy metal contamination in the surface waters of the Siete River and its influence on the health of the inhabitants.

The study evaluated the water quality of the Siete River and its relationship with health problems in the river community. Twenty-five inhabitants were surveyed to determine sociodemographic factors and possible affectations. Physicochemical analyses were performed, including pH, temperature, density, electrical conductivity, and total solids. The results indicated alkaline pH levels (6.98-7.31), stable temperature (23.3-23.5°C), and variations in density and electrical conductivity, suggesting heavy metal contamination. Mercury levels were found to exceed the limits established by TULSAM VI regulations, while arsenic concentrations in all three samples (sample 1; 0.0380 mg/L, sample 2; 0.6905 mg/L and 1.72 mg/L) exceeded the permissible values according to WHO and INEN 1108:2020. These findings suggest a potential toxicological risk for the exposed population, since bioaccumulation of these heavy metals can generate long-term adverse effects.

For data processing, statistical tools such as Jamovi were applied to validate the results and their subsequent interpretation. For the physicochemical analysis of the water, standardized methodologies were used, such as APHA 4500-H+B for pH, ASTM D1429-13 for density and APHA 2510 B for electrical conductivity. The quantification of heavy metals was performed by Atomic Absorption Spectrometry in certified laboratories. The results confirm the relationship between water pollution and community health, highlighting the need for urgent monitoring and mitigation measures to reduce the environmental impact and health of the population.

Key words: Heavy metals, contamination, environmental impact, water, mining.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	3
INTRODUCCIÓN	6
1.1. Antecedentes	8
1.2. Generalidades de la contaminación en el agua	8
1.3. Metales pesados	9
1.4. Efectos de los metales pesados en el medio ambiente y la salud humana	11
1.4.1. Medio ambiente	11
1.4.2. Salud humana	12
1.5. Impacto de la minería en la sostenibilidad ambiental	12
1.5.1. Fuentes de contaminación	13
1.6. Técnicas de detección de metales pesados	13
1.6.1. Cualitativas	13
1.6.2. Cuantitativas	13
1.7. Técnicas de muestreo en agua de ríos	15
1.7.1. Muestreo simple	15
1.7.2. Muestreo compuesto	15
1.8. Índices de calidad del agua	15
1.8.1. Fisicoquímicos	15
CAPÍTULO II	16
METODOLOGÍA	16
2.1. Tipo de investigación	16
2.3. Población	17
2.4. Muestra de estudio	17
2.5. Variables	17
2.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	18
2.6.1. Encuestas	18

2.6.2. Análisis de laboratorio	19
2.7. Análisis Físico químico en agua superficiales en el río siete	20
2.8. Determinación de metales pesados mediante Espectrometría de Absorción Atómica (EAA)	22
2.8.1 Preparación de la muestra	23
2.8.2 Condiciones del análisis en el espectrofotómetro de absorción atómica	23
2.8.3 Procedimiento de análisis	23
2.8.4 Control de calidad y validación de resultados	24
2.9. Análisis estadístico	24
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
3.1. Análisis de la calidad del agua	26
3.1.1. Parámetros físicos químicos	26
3.1.2. Metales pesados	27
3.2. Análisis de la encuesta entre contaminación y salud de la comunidad ribereña del sector	29
CONCLUSIONES	37
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

INTRODUCCIÓN

La actividad minera es la principal causa de la presencia de altas concentraciones de metales pesados en los cuerpos de agua, siendo los ríos los más afectados, y, al ser empleada para las actividades cotidianas por las comunidades aledañas desencadena a largo plazo problemas en la salud, relacionados a la bioacumulación de dichas sustancias tóxicas en el organismo. Recientes investigaciones respaldan que, en Ecuador las pequeñas y medianas empresas mineras han incrementado su producción, y, consecuentemente, los niveles de contaminación por el uso de metales pesados en los procesos de extracción (Angamarca y Valarezo, 2020; Castro, 2019). De acuerdo con Angamarca & Valarezo (2020) y Zorilla (2013), los yacimientos mineros de mayor importancia están situados en la zona andina, cuyo ecosistema es rico en ríos, flora y fauna, por lo que, son altamente susceptibles a contaminación por metales pesados. A pesar de ello, señala que, durante los últimos periodos, la actividad minera ha incrementado desde un 5% a un 40% a nivel nacional.

La complejidad de los metales pesados radica en sus características de poder una alta densidad y su capacidad para formar complejos solubles con los cuerpos de agua, lo cual, facilita el transporte de dichas sustancias químicas, ya sea, a través de los cuerpos de agua o la cadena trófica (Cipriani-Avila et al., 2020). Los desechos producidos por la actividad minera son el Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Níquel (Ni) y Plomo (Pb), los cuales han sido reconocidos por la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer y, en Ecuador, la data muestra que las prácticas inadecuadas minera resulta ser una de las fuentes de contaminación que afecta a pequeñas vertientes que desembalsan en los diferentes ríos y, afecta a las comunidades aledañas (Escobar-Segovia et al., 2021).

En la provincia de El Oro, generalmente los minerales mayormente extraídos son el Oro (Au) y Plata (Ag) a partir de productos químicos que generan residuos químicos cuya tendencia a formar complejos por su alto peso molecular desencadena su acumulación en los cuerpos de agua, provocando daños ambientales y en la salud humana, ya sea, por la cadena trófica (ingesta de peces) o ingesta de agua contaminada (Aveiga et al., 2022; Mora et al., 2016; Oviedo-Anchundia et al., 2017). Esta actividad, pese que se encuentra entre las principales fuentes de impulso económico *per se*, en los cantones de Zaruma y Portovelo, el método tradicional de extracción sigue siendo a través del uso de cianuro (CN) y mercurio (Hg) para su tratamiento, posicionándose con un 19,45% como fuente de contaminación en El Oro (Vilela-Pincay et al., 2020).

A partir de 2007, el cantón de Camilo Ponce Enríquez busca a través del comité de Defensa de los Derechos Humanos (CDH) la anulación de la actividad minera en los sectores aledaños al río Siete, puesto que, tras un deslave provocado por dicha industria se desencadenó la contaminación del río en cuestión, por lo que, los niveles de metales pesados como arsénico y cobre incrementaron por encima del umbral permisible (Comité Permanente por la Defensa de los Derechos Humanos, 2020; Primicias, 2021).

Ante el grave problema creciente de contaminación por la actividad minera en las diferentes comunidades, las elevadas concentraciones de metales en los cuerpos de agua tienden a dar origen a problemas en la salud, por lo cual, ante esta premisa, la presente investigación se plantea como principal objetivo evaluar los niveles de contaminación por metales pesados en las aguas superficiales del Río Siete, generados por la minería, mediante técnicas de análisis químico, estableciendo recomendaciones para la mitigación y prevención de riesgos ambientales y de salud pública.

Asimismo, para dar cumplimiento del objetivo antes planteado se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Cuantificar la presencia de metales pesados
- (Hg, Pb, Cd, As) y los principales parámetros fisicoquímicos en muestras de aguas superficiales del río Siete, mediante un muestreo sistemático.
- Comparar los niveles obtenidos de metales pesados en el agua con estándares nacionales e internacionales de calidad para determinar el grado de contaminación y su posible riesgo para la salud.
- Identificar los principales problemas de salud relacionados con la contaminación por metales pesados en las comunidades ribereñas, recopilando información sobre el consumo de agua y la exposición de la población.

Hipótesis

Las aguas superficiales del Río Siete poseen altos niveles de metales pesados generados por la minería, lo cual impacta de manera negativa en la salud de las comunidades ribereñas.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

La minería representa una relevante fuente de ingresos para la economía del país, siendo los principales minerales exportados el oro, la plata y el cobre. En la actualidad, la extracción de oro representa el 94% y, es proveniente de minerías artesanales y aquellas de pequeña escala (MAPE) (Ministerio del Ambiente, 2020). En el Cantón Ponce Enríquez, las concesiones mineras representan el 77,62% del territorio geográfico, lo cual representa 25801,64 hectáreas, y, de este total, el 5.47% pertenece a medianas y pequeñas minerías, mientras que al 12,22% a la minería artesanal (Parra, 2022).

De acuerdo con Ministerio de Energía & Ministerio de Energía y Mina (1998), el Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental (PRODEMINCA) aplicado en el sector de Ponce Enríquez, señala que las cuencas del río Siete y Tenguel presentan niveles por encima del límite permitido de metaloides y metales pesados, entre ellos; arsénico, seguido de elevados niveles de mercurio, cobre, cadmio y plomo. Estas actividades mineras están provocando graves alteraciones en las poblaciones aledañas al sector e incluso a sector lejanos, puesto que, debido a sus las capacidades de acumulación y fácil movilidad que presentan los metales pesados, pueden transportarse a largas distancias por las fuentes de aguas superficiales (Paz-Barzola et al., 2022; Villamar Marazita et al., 2023).

1.2. Generalidades de la contaminación en el agua

La contaminación del agua en uno de los principales problemas que afronta el siglo XXI debido al aumento significativo de los contaminantes, provenientes de las actividades antropogénicas, crecimiento poblacional, industrialización y mal manejo de los recursos naturales, los cuales han afectado negativamente las aguas de ríos y océanos (Zamora-Ledezma et al., 2021). De acuerdo con Villarín y Merel (2020), entre los contaminantes más frecuentes y de mayor preocupación están los productos farmacéuticos, metales pesados, nanopartículas, radionucleidos, sustancias poli- y perfluoroalquilo, tintes, plásticos, biocidas y microorganismos oportunistas.

Entre los metales pesados (MP) encontrados en vertientes naturales por encima de los límites permisibles a causa de contaminación están el cromo (Cr), cadmio (Cd), arsénico (As), plomo (Pb), hierro (Fe), platino (Pt), zinc (Zn), mercurio (Hg), y, al ser no biodegradables, tienden a acumularse, y, en consecuencia afectar los organismos

acuáticos hasta llegar a la salud humana mediante biomagnificación (Cabral-Pinto et al., 2020).

Actualmente, se estima que, aproximadamente el 80% de las aguas residuales generadas por las industrias textiles, pasteleras, destilerías, siderúrgicas y alimentarias son arrojadas al medio ambiente sin previos tratamientos, constituidas por productos tóxicos, orgánicos e inorgánicos y volátiles que, al ingresar a los ecosistemas acuáticos producen contaminación de la misma. Siendo en los países en vías de desarrollo o subdesarrollados quienes más practican dichos procesos por la falta de instalaciones de saneamiento (Castro López et al., 2024; Lin et al., 2022).

1.3. Metales pesados

- **Mercurio**

El Mercurio, de características tóxicas, símbolo Hg y número atómico 80, es un elemento químico que presenta características volátiles en la atmósfera, por lo que, puede transportarse a largas distancias. Este metal tiene un peso atómico de 200.59 g/mol y puede encontrarse en diversos compartimentos del planeta, principalmente la atmósfera, suelo y agua, siendo este último el de mayor relevancia debido a la toxicidad que desencadena en la salud humana (Lalangui et al., 2017).

De acuerdo con Díaz y López (2021); Pardo (2015), el Hg puede encontrarse en el agua debido a las actividades antropogénicas, siendo la actividad minera y los productos para ganado los principales causantes de su contaminación, y, mediante el proceso de biomagnificación ingresa a los organismos de niveles inferiores (peces), lo cual, repercute en las poblaciones aledañas, así como a quienes consumen los peces provenientes de dicha área. La exposición prolongada de este metal provoca daños en el sistema nervioso central (SNC), alteraciones del ADN, cefalea, náuseas, pérdida de la visión, ceguera, daño embrionario, abortos y diferentes tipos de cáncer.

- **Plomo**

Metal altamente tóxico de número atómico 82, símbolo representativo (Pb) y peso molecular de 207,2 unidades, se encuentra altamente distribuido en la corteza terrestre, no obstante, pese a sus características tóxicas se mantiene regulado un límite máximo según la Organización Mundial de la Salud (2022), el cual no debe exceder los 0,01 mg/L en las fuentes de agua potable. Las principales actividades humanas que aumentan los niveles de plomo en el agua son la agricultura, la industria y la minería, que, en consecuencia, perjudican la flora y fauna acuática, los cuales sirven de fuente alimenticia para las poblaciones aledañas (Mancilla-Villa et al., 2023).

Los elevados niveles de plomo en la salud humana causan problemas leves a severos, en niños, los bajos niveles de plomo pueden provocar desde reducción del coeficiente de información hasta hipertensión arterial, mientras que, en adultos, puede causar infertilidad (Ricks, 2023). No obstante, otros estudios reportados por Fawkes y Sansom (2021), señalan principalmente diversas patologías que desencadenan el deterioro cognitivo y otras tales como debilidad, dolor abdominal y daño renal.

- **Cadmio**

El Cadmio (Cd) pertenece al grupo 12 de la tabla periódica y, presenta un peso atómico de 112,40 g/mol, de valencia +2. En su forma pura, es un metal blando, dúctil, maleable y de color plateado. Al calentarse, puede reaccionar con oxígeno, azufre, fósforo y ciertos halógenos, y es soluble en ácidos. Se conocen 8 isótopos estables de este elemento, y estudios han identificado 11 radioisótopos inestables de origen artificial (Bastidas, 2024).

El Cd, se encuentra presente en las rocas sedimentarias e ígneas y, no excede la concentración de 0,3mg/kg. Los altos niveles de Cd en el suelo están ligados principalmente con la contaminación, ya sea de origen litológico. Este metal puede encontrarse en minerales como plomo y el cobre, sin embargo, las concentraciones del Cd son más bajas. Es importante resaltar que el Cd en el medioambiente puede causar del desgaste y erosión de las rocas, lo cual conllevaría al transporte de grandes cantidades de dicho metal al océano bordeando cantidades de 0,1 µg/kg (Bastidas, 2024).

- **Arsénico**

El arsénico (As), es considerado un metaloide que se encuentra ampliamente distribuido por la corteza terrestre, agua y aire, además, también es considerado causal de contaminación antropogénica. Se encuentra presente en cuatro estados de oxidación: -3, 0, +3 y +5, siendo aquellos compuestos arsenicales pentavalentes los que se encuentran en mayor presencia en organismos y animales (Medina-Pizzali et al., 2018). Se presenta tanto forma inorgánica y orgánica. Las formas inorgánicas de As tienden a ser más pentavalentes, mientras que las inorgánicas se presentan en dos formas: trivalente o As (III) (trióxido de arsénico, tricloruro de arsénico y arsenitos), que se encuentran combinados en la naturaleza con oxígeno, cloro y azufre. Por otro lado, los pentavalentes As(V) (pentóxido de arsénico) (Karak, 2022).

Existen diversas fuentes naturales de liberación de As, la más importante es la que proviene de la actividad volcánica, la cual libere grandes cantidades hacia la atmósfera.

La erosión de la roca o del suelo y, los incendios forestales también son consideradas fuentes de liberación de As (Karak, 2022).

1.4. Efectos de los metales pesados en el medio ambiente y la salud humana

1.4.1. *Medio ambiente:* Los MP se encuentran distribuidos en bajas proporciones por el medio ambiente, no obstante, el incremento de sus concentraciones de gran preocupación en la actualidad, provocadas por las descargas de desechos orgánicos o residuales de las industrias en los ríos. Según (Pardo, 2015; Quezada, 2021), el desarrollo progresivo de la industrialización aumenta el consumo del recurso hídrico, lo que, a su vez, desencadena el aumento de residuos que, se desfogan en el agua, por lo que, las aguas superficiales son las principales afectadas con dichos materiales tóxicos. Además, señala que, las actividades ejecutadas en el medio marítimo como el transporte fluvial también generan contaminación en las aguas superficiales.

De acuerdo con lo establecido en el Anexo 1 del libro TULSMA respecto a la calidad de agua ambiental y de la descarga de efluentes al recurso hídrico, los sistemas de abastecimiento deben cumplir con los límites permisibles de metales pesados, los cuales se postulan en la Tabla 1.

Tabla 1. Límites máximos permisibles de metales pesados en el agua.

Parámetro	Unidad	Límite máximo permisible
Plomo	mg/L	0.01
Cadmio	mg/L	0.02
Arsénico	mg/L	0.1
Mercurio	mg/L	0.006

1.4.2. *Salud humana*: las aguas superficiales (ríos y lagos) y subterráneas (acuíferos) se han visto gravemente afectadas en su pureza y salubridad debido al incremento de las concentraciones de metales pesados, llegando a la población a través de la ingesta de alimentos de origen marino. En la actualidad, se ha registrado una ingesta de metales pesados de 0,3 a 0,5 mg a través de la dieta de manera indirecta, provocando alteraciones fisiológicas, mutagénicas y teratogénicas debido a su bioacumulación en el organismo (Octavio-Aguilar y Olmos-Palma, 2022). Diversos autores señalan que el consumo de metales pesados como el plomo han incrementado respecto a épocas anteriores. Se han encontrado concentraciones de plomo de 400 a 1000 veces más en huesos de la época actual en comparación a 400 años atrás, cuya patología se denominaba saturnismo (Matés et al., 2010; Octavio-Aguilar y Olmos-Palma, 2022). De acuerdo con Ahmad et al. (2021); Mohammadi et al. (2020); Wu et al. (2020), la ingesta de agua e inhalación directa de partículas son las principales vías de exposición a los MP. Los efectos adversos que producen dichos contaminantes pueden ser agudos o crónicos. Se consideran agudos cuando se consumen en niveles excesivamente altos, por lo que, se manifiestan horas o días posterior a la exposición o ingesta. Mientras que, los efectos crónicos aparecen tras la ingesta durante años del contaminante en cantidades superiores a las estandarizadas por las instituciones a cargo. Los principales efectos a las exposiciones de los diversos tipos de contaminantes acontecen por el daño directo de los agentes reactivos de oxígeno (ROS) a las células y las enzimas superóxido dismutasa y glutatión, incrementando el estrés oxidativo y, por ende, patologías como el cáncer, problemas renales, hepáticas e infertilidad (Matés et al., 2010; Octavio-Aguilar y Olmos-Palma, 2022).

1.5. Impacto de la minería en la sostenibilidad ambiental

El proceso de la minería ha generado un impacto negativo en el agua empleada en los procesos metalúrgicos, puesto que, adhiere en la misma, partículas de polvo, grasas y aceites, productos químicos y explosivos son quemar, los cuales son desplazados a vertientes mayores por acción de las lluvias, llegando incluso hasta las aguas subterráneas. La minería emplea principalmente carbón para la extracción de minerales valiosos, el cual, está constituido por diversos niveles de pirita (constituida por trazas de sulfuro de hierro), que al oxidarse produce ácido sulfúrico en el agua, otorgándole características tóxicas y contaminantes, siendo las poblaciones aledañas al sector minero los principales afectados (Mohsin et al., 2021).

Según Wang et al. (2007); Worlanyo y Jiangfeng (2021), la minería subterránea genera mayor impacto negativo en comparación a la minería superficial, puesto que emplea maquinarias de alto niveles para la exhumación de materiales duros que contienen metales y se encuentran en lo profundo de la tierra. El proceso de extracción conlleva una sobreproducción de gangue, material sin valor, que requiere fundición y refinamiento para la obtención de los minerales o materiales puros, dicho proceso demanda una explotación exacerbada del medio ambiente, principalmente suelo y agua, causando efectos devastadores en las comunidades del entorno, por lo que, los tratamientos de aguas y suelos post-minería, deberían considerarse obligatoria para la recuperación de los nutrientes vegetales como nitrógeno (N), potasio (K) y fosforo (P).

1.5.1. Fuentes de contaminación

- **Contaminantes químicos**

Existen diversos contaminantes de naturaleza química usados en la recuperación de los minerales. El mercurio (Hg), es utilizado para la amalgamación del oro (Au) en la minería artesanal, para luego ser liberado a través de las aguas residuales, relaves y el vapor generado durante la quema del metal para la separación de la amalgama formada entre Hg y Au (Rocha-Román et al., 2018). Cuando el Hg entra a los ecosistemas acuáticos, tiende a transformarse en metilmercurio (MeHg), mismo que tiende a acumularse en los peces, representando un grave problema sanitario (Olivero-Verbel et al., 2011).

1.6. Técnicas de detección de metales pesados

1.6.1. Cualitativas

- **Método colorimétrico**

El método colorimétrico para la detección de iones de metales pesados ha suscitado un interés creciente debido a sus importantes ventajas, especialmente para el análisis rápido e in situ. En concreto, este método permite: la detección rápida a simple vista, eliminando la necesidad de equipos complejos; la aplicación en análisis de campo debido a su portabilidad, y la facilidad de uso por parte de no profesionales, aumentando su potencial para una adopción más amplia. Estas ventajas han impulsado a los investigadores a desarrollar numerosos materiales nuevos (Chen et al., 2023).

1.6.2. Cuantitativas

- **Espectroscopía de absorción atómica**

La espectrometría de absorción atómica (EAA) permite la cuantificación de metales, por lo que, los campos de aplicación a nivel industrial varían desde industrias alimentarias, farmacéuticas, petroquímicas, toxicológicas, entre otras. La técnica se fundamenta en

la Ley de Lambert-Beer, la cual plantea que toda materia capaz de emitir luz a una longitud de onda específica, es capaz de absorber luz a la misma longitud de onda, permitiendo determinar la concentración del analito de interés (Pardo, 2015). Debido a su alta sensibilidad, es empleada para detectar metales pesados en bebidas alcohólicas o para determinar la calidad del agua (Daquilema, 2021). Por otro lado, Zumbado (2021) anuncian que, la determinación del analito se respalda en la longitud de onda a la cual se absorben los átomos libres o neutros característicos de este elemento químico, y lo produce a su estado gaseoso, el cual, debido a la energía térmica producida por un horno de grafito o de una llama se produce su cuantificación.

- **Espectrometría de plasma de acoplamiento inductivo**

La espectrometría de plasma de acoplamiento inductivo, por sus siglas en inglés (ICP-OES) es una técnica analítica avanzada y versátil con excelentes propiedades de detección. Actualmente ha sido ampliamente utilizada para el análisis de una gran variedad de elementos químicos. La técnica ofrece un tiempo de detección mínimo, límites de detección reducidos, un rango dinámico lineal más amplio, mayor tolerancia a la matriz y prácticamente ninguna interferencia química, por lo que, la ha convertido en un método estándar en algunas industrias (Khan et al., 2022).

Debido a la sensibilidad de la técnica, pueden analizarse muestras en suspensión con disolventes orgánicos o acuosos, y muestras disueltas a cantidades traza o ultratrazas. La muestra líquida es transportada mediante una bomba peristáltica hacia el sistema nebulizador, donde se convierte en aerosol por acción del gas argón. Este aerosol es dirigido hacia la zona de ionización. Dentro del plasma, se pueden alcanzar temperaturas de hasta 8000 °K, lo que ioniza o excita los átomos presentes en la muestra. Al regresar a su estado fundamental, estos átomos o iones excitados emiten radiaciones con longitudes de onda específicas para cada elemento. Estas radiaciones pasan por un sistema óptico que las separa según su longitud de onda, y un detector mide la intensidad de cada radiación, relacionándola con la concentración de cada elemento del analito (Zumbado, 2021).

1.7. Técnicas de muestreo en agua de ríos

1.7.1. *Muestreo simple*: consiste en la toma de muestras de agua de un solo punto y ejecuta en un tiempo determinado. Suele emplearse para la determinación de la calidad de agua en un lugar específico (Mendoza y Hernández, 2018).

1.7.2. *Muestreo compuesto*: está formada por la combinación de varias muestras simples, obtenidas en diversos lugares en un periodo de tiempo determinado. El objetivo primordial es la determinación de las condiciones de agua en un área específica o, en un tiempo específico (Mendoza y Hernández, 2018).

1.8. Índices de calidad del agua

El índice de calidad del agua (ICA) es una herramienta empleada para evaluar el nivel de contaminación en el agua. Para determinar este índice, es necesario analizar diversos parámetros físicos, químicos y biológicos mediante una fórmula matemática, con el objetivo de evaluar la calidad del agua destinada al consumo humano y detectar posibles amenazas (Méndez Zambrano et al., 2020).

1.8.1. Físicoquímicos

Los parámetros físicoquímicos son indicadores críticos de la calidad del agua que reflejan la salud y la seguridad de los medios acuáticos. Los parámetros clave son el pH, la temperatura, el oxígeno disuelto (OD), la conductividad eléctrica (CE), la turbidez y las concentraciones de nutrientes como nitratos y fosfatos. Cada parámetro proporciona información específica sobre el estado del agua y su posible impacto en los ecosistemas y la salud humana. En Ecuador, la Normativa Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108: 2020 define los principales parámetros y valores permisibles (Tabla 2) para que el agua sea consumible en la población.

Tabla 2. Parámetros físicos y químicos del agua para consumo humano según NTE INEN 1108-2020

Parámetro	Unidad	Límite permisible	Método de ensayo
pH	Unidades de pH	6,5 – 8,0	-
Color aparente	Pt-Co	15	Standard Methods 2120
Temperatura			
Turbiedad	NTU	5	Standard Methods 2130
Nitratos (como NO ₃ ⁻)	mg/L	50,0	Standard Methods 4500-NO ₃ ⁻
Nitritos (como NO ₂ ⁻)	mg/L	3,0	Standard Methods 4500-NO ₂ ⁻

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108 Sexta revisión 2020-04

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El presente estudio es de tipo descriptivo, con un diseño no experimental y de corte transversal, desarrollado durante los meses de noviembre, diciembre y enero del 2024 en el río siete en la parroquia Tendales, provincia de El Oro. El enfoque de la investigación es mixto (cualitativo-cuantitativo), ya que combina la recopilación y análisis de datos cuantitativos sobre los niveles de metales pesados en el agua del río Siete con la evaluación cualitativa de su impacto en la salud de las comunidades ribereñas. El diseño transversal permite obtener una visión puntual de la calidad del agua y su relación con la prevalencia de enfermedades en la población afectada, proporcionando una base técnica para la identificación de riesgos ambientales y sanitarios.

2.2. Ubicación del área de estudio

La presente investigación se ejecutó en la microcuenca del río siete, que se encuentra ubicada en la provincia de El Oro, cantón El Guabo, parroquia Tendales, su ubicación geográfica es latitud de -3.06667 y una longitud de -79.8667 (Ilustración 1)

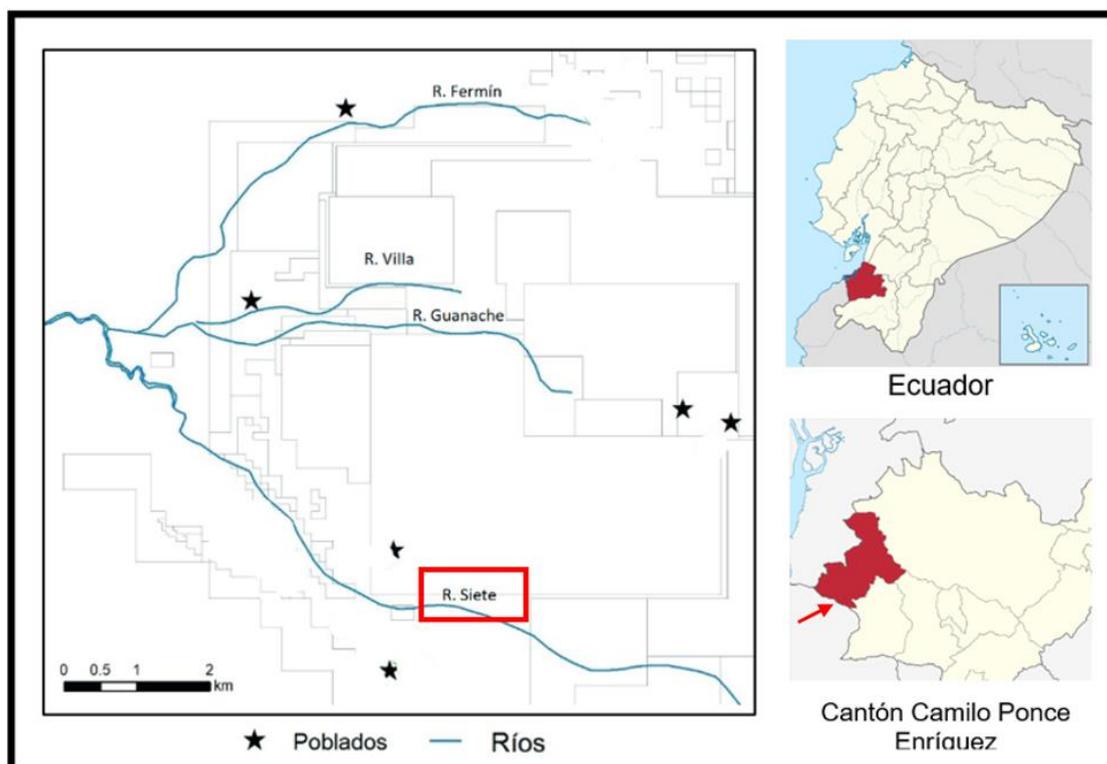


Ilustración 1. Mapa de ubicación geográfica del Río siete.

2.3. Población

La población de estudio para esta investigación está compuesta por dos grupos principales:

1. Cuerpos de agua del río Siete: Se analizarán muestras de agua tomadas en distintos puntos estratégicos del río dentro de la parroquia Tendales, provincia de El Oro, con el fin de determinar la concentración de metales pesados.
2. Habitantes de las comunidades ribereñas: Se incluirán personas que residen en zonas cercanas al río siete y que potencialmente están expuestas a los contaminantes presentes en el agua. La selección puede centrarse en grupos vulnerables, como niños, adultos mayores y personas con enfermedades crónicas, para evaluar posibles afecciones de salud asociadas a la contaminación del agua.

2.4. Muestra de estudio

Para la investigación, se recolectaron tres muestras de agua del río S

iete en tres momentos distintos, con el objetivo de evaluar la presencia de metales pesados en diferentes condiciones ambientales y estacionales. Los puntos de muestreo fueron seleccionados estratégicamente en zonas representativas del río dentro de la parroquia Tendales, considerando áreas de posible contaminación por actividades humanas.

En cuanto a la población humana, se encuestó y evaluó a un total de veinticinco habitantes de comunidades ribereñas, quienes han estado expuestos al agua del río de manera directa o indirecta. La selección de los participantes se realizó bajo criterios de inclusión que consideraron la residencia mínima de cinco años en la zona y el contacto frecuente con el agua para consumo, uso doméstico o actividades agrícolas. Los datos recopilados incluyeron información sociodemográfica, antecedentes médicos y posibles síntomas relacionados con la exposición a contaminantes en el agua.

2.5. Variables

Variables del estudio

1. Variables independientes (Factores de exposición)

- Concentración de metales pesados en el agua del río Siete (mg/L)
 - Plomo (Pb)
 - Mercurio (Hg)

- Cadmio (Cd)
- Arsénico (As)
- Tiempo de exposición (años de residencia y contacto con el agua del río)
- Uso del agua del río (consumo, actividades domésticas, agrícolas, recreativas)

2. Variables dependientes (Impacto en la salud humana)

- Síntomas y enfermedades asociadas a la exposición a metales pesados:
 - Enfermedades gastrointestinales
 - Afecciones dermatológicas
 - Problemas neurológicos (dolor de cabeza, fatiga, deterioro cognitivo)
 - Trastornos renales
 - Problemas respiratorios

3. Variables sociodemográficas (Covariables o variables de control)

- Edad
- Sexo
- Condiciones preexistentes de salud
- Acceso a agua potable alternativa
- Condiciones socioeconómicas

2.6.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Encuestas: Para la recopilación de información sobre el impacto del consumo de agua con metales pesados en la salud de la comunidad ribereña del río Siete, se aplicó un cuestionario estructurado, validado por tres especialistas en el área (ver Anexo 2). Este instrumento fue diseñado para obtener datos sociodemográficos, historial de consumo de agua, síntomas asociados a la exposición a metales pesados y percepción de los habitantes sobre la calidad del agua. La validación del cuestionario garantizó la coherencia con el planteamiento del problema y las hipótesis del estudio, asegurando la fiabilidad y pertinencia de la información recopilada.

2.6.2. *Análisis de laboratorio:* Para la cuantificación de metales pesados en el agua del río Siete, se realizó la recolección y transporte de muestras siguiendo los protocolos establecidos en la normativa NTE INEN 2169:2013 (Ilustración 2), Se analizaron tres muestras en diferentes momentos y puntos estratégicos del río. Los análisis fisicoquímicos de las muestras 1 y 2 se realizaron en el laboratorio ANAVANLAB (Muestra N° 68886), mientras que la muestra 3 fue procesada en el laboratorio LEGEMESA (Laboratorio de Minería Ambiental) (Muestra N° LA250001). Estos análisis permitieron determinar la concentración de metales pesados y su posible impacto en la salud de la población expuesta.

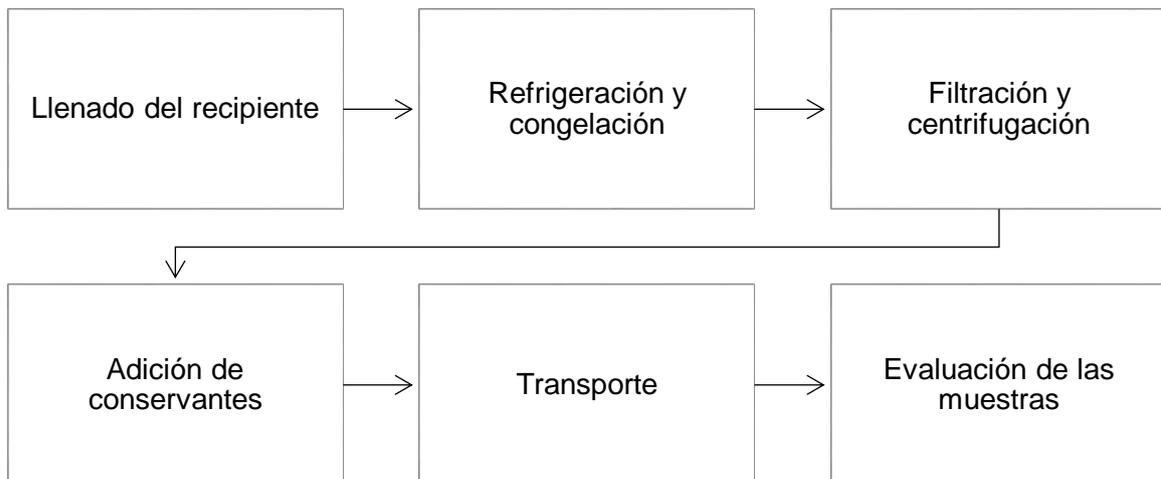


Ilustración 2. Procedimiento recolección de muestras y transporte.

Para la conservación y posterior análisis de los niveles de metales pesados en las muestras del río siete se siguió las técnicas generales planteadas en la normativa antes mencionada, y, en dependencia del metal pesado, se procedió de acuerdo con lo detallado en la Tabla 3.

Tabla 3. Técnicas generales para la conservación de muestras – análisis fisicoquímico.

Parámetros	Tipo de recipiente	Volumen típico (ml) y técnica de envasado	Técnica de preservación	Tiempo máximo recomendado de preservación antes del análisis después de la conservación	Comentarios	Método de ensayo
Mercurio	P o VB	500	Acidificar entre pH 1 a 2 con HNO ₃ .	1 mes	6 meses	EPA 200.7//P-LA-013
Plomo	P lavado con ácido o VB lavado con ácido	100	Acidificar a entre pH 1 a 2 con HNO ₃ .	1 mes	6 meses	EPA 200.7//P-LA-013
Cadmio	P lavado con ácido o VB lavado con ácido.	100	Acidificar entre pH 1 a 2 con HNO ₃ .	1 mes	6 meses	EPA 200.7//P-LA-013
Arsénico	P lavado con Ácido. V lavado con ácido□.	500	Se acidifica entre pH 1 a 2 con HCl o HNO ₃ .	1 mes	HCl debe ser utilizado si la técnica de hidruro se utiliza para el análisis.	EPA 200.7//P-LA-013

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización (2013)

Leyenda: vidrio (V); plástico (P); vidrioborosilicatado (VB)

2.6. Análisis Físico químico en agua superficiales en el río siete

- **pH**

Para la determinación del pH, se empleó la metodología de Torres (2015) con modificaciones, siguiendo el método APHA 4500-H+B. Antes del análisis, se verificó la calibración del potenciómetro Aquasearcher utilizando soluciones buffer de pH 4,00; 7,00 y 10,00. Posteriormente, el electrodo de medición fue lavado con agua destilada y enjuagado con una pequeña cantidad de la muestra a analizar. Para la medición, la muestra se homogenizó con un agitador y se colocó en un vaso de precipitación, donde se sumergió el electrodo hasta obtener la lectura estable. Una vez realizada la medición, el electrodo fue retirado, lavado nuevamente con agua destilada y secado con papel absorbente para evitar contaminación cruzada entre muestras.

- **Temperatura**

La determinación de la temperatura del agua se llevó a cabo utilizando un medidor de pH marca OHAUS, siguiendo la metodología descrita por Cevallos-Mina et al. (2023) y su vinculación con la normativa ISO 5667-1:2022. Para ello, la muestra fue colocada en un vaso de precipitación, asegurando una temperatura ambiente controlada. El electrodo del medidor fue previamente embebido en agua destilada para evitar

interferencias y posteriormente sumergido en la muestra, registrando la temperatura del agua en grados Celsius (°C) hasta alcanzar una lectura estable.

- **Densidad**

La densidad del agua fue determinada siguiendo la metodología descrita en la norma ASTM D1429-13. Para ello, se utilizó un picnómetro de vidrio calibrado con capacidad de 25 mL. Primero, el picnómetro vacío fue pesado en una balanza analítica de alta precisión ($\pm 0,0001$ g). Luego, se llenó con la muestra de agua, asegurando la ausencia de burbujas de aire, y se pesó nuevamente. La densidad (g/cm^3) se calculó aplicando la ecuación (1);

$$P_{\text{liquido de interés}} = \left(\frac{m_{\text{picnómetro+Líquido}} - m_{\text{picnómetro}}}{m_{\text{picnómetro+agua}} - m_{\text{picnómetro}}} \right) (P_{\text{agua}})$$

(1)

Las mediciones se realizaron a temperatura controlada de 25°C para garantizar la precisión de los valores obtenidos.

- **Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica (CE) se determinó empleando el método APHA 2510 B, utilizando un conductímetro portátil marca HANNA Instruments calibrado con soluciones patrón de 84 $\mu\text{S/cm}$ y 1413 $\mu\text{S/cm}$. La muestra de agua fue colocada en un vaso de precipitación limpio, asegurando una temperatura estable. Posteriormente, el electrodo del conductímetro fue sumergido en la muestra, registrando la lectura en microsiemens por centímetro ($\mu\text{S/cm}$) hasta obtener un valor estable. Para garantizar precisión, el electrodo se enjuagó con agua destilada entre cada medición.

- **Sólidos Totales Disueltos (STD)**

La determinación de los sólidos totales disueltos (STD) se realizó utilizando un medidor de sólidos disueltos (TDS meter), siguiendo la metodología APHA 2540 C. Para ello, se empleó un medidor digital calibrado con soluciones patrón para asegurar la exactitud de los valores obtenidos.

El procedimiento incluyó los siguientes pasos:

1. Se calibró el medidor STD con una solución estándar de 1000 mg/L de TDS.
2. Se tomó una alícuota de la muestra de agua y se colocó en un vaso de precipitación.

3. Se sumergió la sonda del medidor en la muestra, permitiendo que el valor se estabilizara antes de registrar la lectura.
4. Se obtuvo la medición en miligramos por litro (mg/L), indicando la cantidad total de sólidos disueltos en la muestra.
5. Se realizó un enjuague del electrodo con agua destilada entre cada medición para evitar contaminación cruzada.

Este método permitió una determinación rápida y precisa de los sólidos disueltos, facilitando la evaluación de la calidad del agua del río Siete.

Tabla 4. Resumen de los parámetros a evaluar en la determinación fisicoquímica del agua de río

Parámetro	Método / Norma aplicada	Instrumento utilizado
pH	APHA 4500-H+B	Potenciómetro Aquasearcher
Temperatura	ISO 5667-1:2022	Medidor de pH OHAUS
Densidad	ASTM D1429-13	Picnómetro de vidrio y balanza analítica
Conductividad eléctrica	APHA 2510 B	Conductímetro HANNA Instruments
Sólidos Totales Disueltos (STD)	APHA 2540 C	Medidor de sólidos disueltos (TDS meter)

2.7. Determinación de metales pesados mediante Espectrometría de Absorción Atómica (EAA)

La cuantificación de los metales pesados (Hg, Cd, Pb, As) en las muestras de agua del río Siete se realizó mediante espectrometría de absorción atómica con horno de grafito (EAA-HG), siguiendo la metodología propuesta por Treves (2016) y Valarezo et al. (2021), con modificaciones adaptadas al procedimiento experimental.

2.8.1 *Preparación de la muestra:* Las muestras fueron sometidas a un proceso de digestión ácida utilizando ácido nítrico (HNO_3) concentrado para la eliminación de la matriz orgánica y la liberación de los metales en solución. Tras la digestión, las muestras fueron filtradas y diluidas según los estándares analíticos para evitar interferencias en la medición.

2.8.2 *Condiciones del análisis en el espectrofotómetro de absorción atómica:* El análisis se llevó a cabo en un espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito, alineando el tubo de grafito con la luz de la lámpara de cátodo hueco específica para cada metal analizado. La determinación cuantitativa se realizó estableciendo las siguientes longitudes de onda específicas para cada elemento:

Tabla 5. Longitudes de ondas aplicadas en el espectrofotómetro de absorción atómica de acuerdo al tipo de metal pesado.

Metal pesado	Longitud de onda (nm)
Mercurio (Hg)	253,7
Cadmio (Cd)	228,8
Plomo (Pb)	283,3
Arsénico (As)	193,7

2.8.3 *Procedimiento de análisis:* Se programó el software del equipo con las condiciones óptimas de medición para cada metal.

Se calibró el equipo con estándares certificados de concentración conocida para cada metal pesado.

Se tomó un volumen de 10 μL de la muestra digerida utilizando una micropipeta de precisión y se inyectó en la entrada del tubo de grafito.

El análisis se desarrolló en tres etapas térmicas dentro del horno de grafito:

Etapas de secado: Se aplicó una temperatura entre 80°C y 180°C para evaporar el solvente y eliminar compuestos volátiles.

Etapas de calcinación: Se incrementó la temperatura entre 350°C y 1600°C para eliminar la materia orgánica presente en la muestra.

Etapas de atomización: Se alcanzaron temperaturas entre 1800°C y 2800°C, lo que permitió la atomización completa de los metales pesados, generando una señal de absorción proporcional a la concentración del analito en la muestra.

Finalmente, se registraron las absorbancias de cada elemento y se calcularon las concentraciones utilizando la curva de calibración obtenida previamente.

2.8.4 *Control de calidad y validación de resultados:* Para garantizar la precisión y exactitud del análisis:

- Se realizaron mediciones en triplicado para cada muestra.
- Se aplicaron controles de calidad con materiales de referencia certificados (CRM).
- Se verificó la ausencia de interferencias mediante la inclusión de blancos analíticos.

Este procedimiento permitió una determinación precisa y confiable de la concentración de mercurio, cadmio, plomo y arsénico en las muestras de agua del río Siete, proporcionando datos fundamentales para la evaluación de la calidad del agua y su impacto en la salud de la comunidad ribereña.

2.8. Análisis estadístico

Los datos obtenidos en el estudio fueron organizados y procesados en Microsoft Excel, Posteriormente, se utilizaron herramientas estadísticas en el software Jamovi (versión 2.3.28) para analizar la relación entre los niveles de metales pesados en el río Siete y los posibles efectos en la salud de la comunidad ribereña.

Se aplicaron los siguientes métodos estadísticos:

1. Análisis de las muestras de agua

- **Análisis descriptivo:** Se calcularon valores como promedio, mínimo, máximo y desviación estándar para describir las concentraciones de metales pesados en las muestras de agua.
- **Comparación de datos:** Se analizaron las diferencias entre los niveles de metales pesados en los diferentes puntos y momentos de muestreo para identificar variaciones en la contaminación del río.

2. Análisis de la encuesta a la comunidad

- **Distribución de respuestas:** Se analizaron las frecuencias y porcentajes de las respuestas obtenidas en la encuesta, organizando los datos en gráficos y tablas para facilitar su interpretación.
- **Tendencias en la percepción de la calidad del agua:** Se evaluaron las respuestas sobre el consumo de agua, síntomas de enfermedades y acceso a fuentes alternativas de agua potable.
- **Comparación de grupos:** Se identificaron diferencias en la percepción y los síntomas reportados según edad, género y tiempo de residencia en la zona.

Este análisis permitió obtener una visión general de la calidad del agua del río Siete, la percepción de la comunidad sobre el problema y su posible impacto en la salud de la población cercana.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en el análisis de la calidad del agua del río Siete, incluyendo parámetros fisicoquímicos y la concentración de metales pesados en distintas muestras. Asimismo, se analizan los hallazgos de la encuesta realizada a la comunidad ribereña, con el fin de identificar posibles efectos en la salud asociados a la contaminación del agua. Los datos obtenidos permiten establecer una relación entre la calidad del agua y las afecciones reportadas por la población, proporcionando evidencia científica para futuras acciones de monitoreo y mitigación ambiental.

3.1. Análisis de la calidad del agua

3.1.1. Parámetros físicos químicos

Tabla 6. Parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua del río Siete

Parámetros	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
<i>pH</i>	6,98	7,31	7,16
<i>Temperatura</i>	23,50°C	23,30°C	23,40°C
<i>Densidad</i>	991,92 kg/m ³	1004,20 kg/m ³	998,06 kg/m ³
<i>Conductividad</i>	1059,00 µs/cm	172,00 µs/cm	615,50 µs/cm
<i>Sólidos totales</i>	493,00 ppm	81,00 ppm	287,00 ppm

La composición fisicoquímica del agua puede modificarse en dependencia de factores intrínsecos y extrínsecos como el pH, temperatura, sólidos disueltos, demanda química de oxígeno, presencia de microorganismos, entre otros (Mancilla-Villa et al., 2023; Mano et al., 2022; Paz y Cuero, 2020). Los resultados respecto al pH, temperatura, densidad, conductividad eléctrica y sólidos totales evaluados en las diferentes muestras se detallan en la Tabla 6.

Parámetros fisicoquímicos

El análisis fisicoquímico del agua del río Siete reveló que el pH varió entre 6,98 y 7,31, indicando una condición ligeramente neutra favorable para la vida acuática (Tucto et al., 2022). Estos valores son comparables a los registrados en el río Cuchipamba (6,95 – 7,75), pero contrastan con los de la Laguna Lunar en Puno, Perú, donde la actividad minera ha generado pH ácidos de 3,03 a 4,61 (Brousett-Minaya et al., 2021). La temperatura se mantuvo entre 23,30°C y 23,50°C, lo cual es característico de la zona, aunque estudios previos sugieren que un aumento sostenido en la temperatura puede reducir la solubilidad del oxígeno disuelto y afectar la biodiversidad acuática (Brousett-Minaya et al., 2021).

La conductividad eléctrica osciló entre 172,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 1059,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$, reflejando diferencias en la concentración de iones disueltos. En comparación, en la Laguna Cumunni se reportaron valores superiores a 1063 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que indica una mayor presencia de contaminantes por descargas industriales y residuos agrícolas (Brousett-Minaya et al., 2021). En el río Siete, el incremento de la conductividad en ciertos puntos sugiere la posible presencia de metales pesados y sales provenientes de fuentes antrópicas. Los sólidos totales variaron entre 81,00 ppm y 493,00 ppm, con el mayor valor en la muestra 1, lo que podría estar asociado a la erosión de suelos y descargas de actividades humanas. Este fenómeno ha sido documentado en cuerpos de agua contaminados por minería, donde altos niveles de sólidos en suspensión afectan la transparencia del agua y la fotosíntesis (Brousett-Minaya et al., 2021).

3.1.2. Metales pesados

Tabla 7. Resultados de la concentración de metales pesados en el agua del río siete

Parámetro (expresado en mg/L)	Resultados			Límites permisibles		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	INEN 1108:2020	TULSAM	OMS
Mercurio	<0,0010	0,001	0,001	0,006	0,0002	0,001
Plomo	<0,001	0,059	0,117	0,010	-	0,010
Cadmio	<0,001	0,005	0,010	0,003	0,001	0,003
Arsénico	0,0380	0,6905	1,720	0,010	0,050	0,010

El análisis de metales pesados en el agua del río Siete reveló la presencia de mercurio (Hg), plomo (Pb), cadmio (Cd) y arsénico (As) en concentraciones variables. Los valores obtenidos se compararon con los límites permisibles establecidos por INEN 1108:2020, TULSAM y la OMS, así como con estudios previos en diferentes cuerpos de agua.

- **Mercurio (Hg)**

Los resultados muestran que en las muestras 1 y 2, el mercurio estuvo por debajo de 0,001 mg/L, mientras que en la muestra 3 alcanzó 0,001 mg/L, valor dentro del límite permisible por la OMS (0,001 mg/L) pero superior a la normativa TULSAM (0,0002 mg/L). Estos hallazgos coinciden con estudios en cuerpos de agua de Ecuador, donde el mercurio ha sido reportado en niveles cercanos a los estándares internacionales debido a la actividad minera y la erosión de suelos contaminados (Pérez et al., 2020). En investigaciones realizadas en la cuenca del río Napo, se identificó mercurio en concentraciones de 0,002 a 0,005 mg/L, asociadas principalmente a la minería aurífera (Castro et al., 2019). La presencia de mercurio en la muestra 3 podría estar relacionada con fuentes de contaminación puntual o difusa en la zona de estudio.

- **Plomo (Pb)**

El análisis de plomo evidenció que en la muestra 1 la cuantificación se encuentra por debajo de 0,001 mg/L, mientras que, las muestras 2 (0,059 mg/L) y 3 (0,117 mg/L) se detectaron valores significativamente altos respecto a lo permisible en las normativas nacionales e internaciones; OMS y Norma INEN 1108:2020. Investigaciones en ríos contaminados por actividades industriales y vehiculares han reportado niveles elevados de plomo, como en el río Bogotá, donde se registraron concentraciones de hasta 0,15 mg/L en puntos cercanos a descargas de desechos metálicos (Gómez et al., 2021). La alta concentración en la muestra 3 sugiere la posible influencia de vertidos industriales, acumulación en sedimentos o infiltración de fuentes antrópicas.

- **Cadmio (Cd)**

De acuerdo a los resultados obtenidos, la muestra 1 arrojó valores por debajo de 0,001 mg/L, mientras que, las muestras 2 y 3 señalaron valores entre 0,005 a 0,010 mg/L de agua, los cuales son superiores a los admisibles por las normativas INEN 1108:2020, TULSAM y OMS, pudiendo atribuirse a los residuos de la actividad minera del sector, puesto, que, los resultados coinciden con el estudio de (Ramírez et al., 2018), quienes evaluaron cuerpos de agua afectados por la actividad minera, como el río Tumbes en Perú, donde se han identificado concentraciones de hasta 0,012 mg/L La presencia de cadmio en la muestra 3 puede estar relacionada con lixiviación de metales pesados desde depósitos naturales o por descargas industriales en la zona.

- **Arsénico (As)**

El arsénico mostró valores preocupantes en las tres muestras, donde alcanzó concentraciones desde 0,0380 hasta 1,720 mg/L, superando ampliamente los límites establecidos por la OMS (0,01 mg/L), INEN 1108:2020 (0,01 mg/L) y TULSAM (0,05 mg/L). La muestra 1 registró 0,0380 mg/L, mientras que la muestra 2 mostró 0,6905 mg/L y la última 1,720 mg/L, estos valores también se registraron por encima de los estándares. En investigaciones sobre contaminación por arsénico en ríos de Bolivia y Argentina, se han reportado valores similares, con concentraciones que van desde 0,5 mg/L hasta 2,0 mg/L, especialmente en zonas con antecedentes de actividad minera (Sarmiento et al., 2020). La contaminación por arsénico representa un riesgo severo para la salud pública, ya que su consumo prolongado se ha relacionado con enfermedades como el cáncer y daños neurológicos.

Los resultados obtenidos en el río Siete son comparables con investigaciones realizadas en otros cuerpos de agua impactados por actividades humanas. Estudios previos han evidenciado que la minería, la industria metalúrgica y las descargas urbanas son fuentes comunes de metales pesados en sistemas fluviales. De acuerdo con los hallazgos de Tarras-Wahlberg et al. (2001), en Ecuador, el río Puyango presentó en un periodo de

tiempo los mayores niveles de contaminación por metales pesados en agua y sedimentos, principalmente de cadmio (0,012 $\mu\text{g/L}$), plomo (0,61 $\mu\text{g/L}$) y mercurio (0,0036 $\mu\text{g/L}$). Estos resultados coincidieron con lo enunciado por Aveiga Ortiz et al. (2022), quienes obtuvieron resultados similares en el río Carrizal de Manabí (plomo; 0,41 mg/L). Para Calderón-Guevara et al. (2023); Capparelli et al. (2020), las actividades mineras son las principales responsables de la contaminación de las aguas en las comunidades aledañas, afectando incluso el ecosistema acuático y provocando un aspecto opalescente y oscuro en el agua.

3.2. Análisis de la encuesta entre contaminación y salud de la comunidad ribereña del sector

- Edad

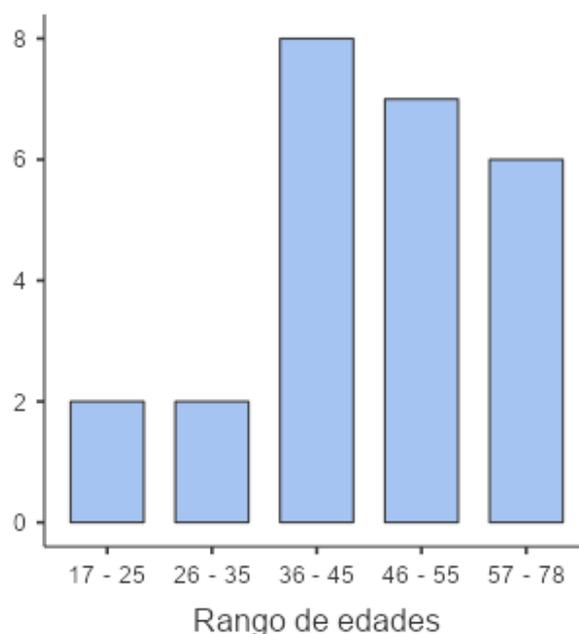


Ilustración 3. Frecuencia de edades de la población objeto de estudio

De acuerdo con la información recolectada del sector, existe un amplio rango de edades en la comunidad ribereña, el cual se expresa en la Ilustración 3. Siendo el rango entre la edad de 36 – 45 años, los de mayor frecuencia (32%), en comparación con el rango entre 46 – 55 años y 57 – 78 años, cuya frecuencia oscila entre 28% y 24% respectivamente. Mientras que, los rangos de 17 – 25 años y 26 – 35 años, fueron los de menor prevalencia, cuyo porcentaje coincidió en 8% para cada caso. No obstante, Pineda (2022) enfatizó que la población con mayor riesgo de intoxicación con metales pesados es aquellos entre 25 a 65 años.

- **Sexo**

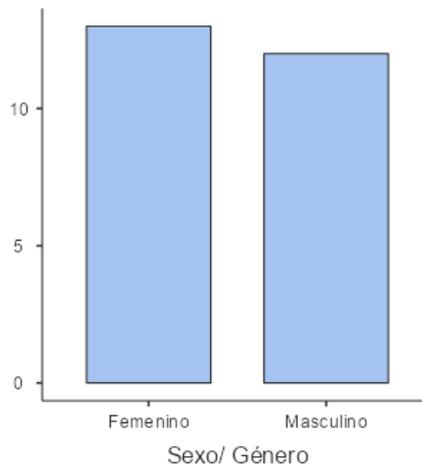


Ilustración 4. Frecuencia de sexo de la población objeto de estudio

En la Ilustración 4, prevaleció un mayor porcentaje las mujeres con un 52% (n = 13), en comparación con el obtenido en los hombres; 48% (n = 12). Järup (2003), fundamenta que las mujeres en edad fértil tienen mayor riesgo de desarrollar intoxicación por metales pesados, puesto que, están expuestas naturalmente a cambios hormonales, ciclos menstruales, procesos de gestación y por la cantidad de grasa corporal producto de la cantidad de hormonas que sintetiza el organismo.

Como menciona Hermoso de Mendoza et al. (2011), variables como el sexo y la edad, son importantes considerar, puesto que, en cuanto al sexo, los factores ligados como la genética, morfología y fisiología influyen directamente en la respuesta o su bioacumulación. Por otro lado, la edad es un factor estrechamente relacionado con la cantidad de contaminantes medidos, ya que influye en el tiempo de acumulación de xenobióticos bioacumulables en el organismo.

- **Ocupación laboral**

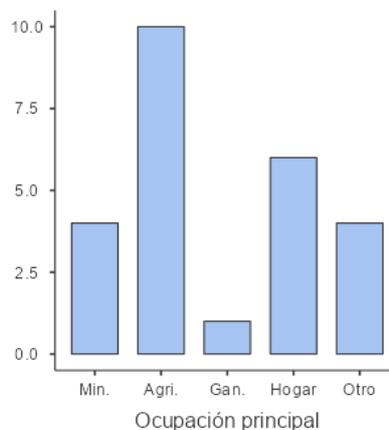


Ilustración 4. Frecuencia de la ocupación laboral de la población objeto de estudio

En la Ilustración 5, el 40% (n = 10) de la población objeto de estudio se dedica a la agricultura, seguido del 24% (n = 6) cuya ocupación principal está en el hogar (ama de casa), luego el 16% (n = 4) dedicada a la minería u otra actividad, y, finalmente, el 4% (n = 1) se enfoca en la ganadería. Quezada (2021), ratifica que, la agricultura, al igual que la minería produce altos niveles de contaminación tras el uso de plaguicidas para la prevención de plagas que dañan los sembríos, puesto que, dichos componentes pueden ser arrastrados por las lluvias o por el agua de irrigación. No obstante, en el actual estudio, no se descarta la posibilidad de aparición de patologías relacionadas por la bioacumulación de metales pesados en los individuos cuya ocupación principal no sea la actividad minera, puesto que, podrían de forma indirecta vincularse con el uso del agua procedente del río Siete, lo cual se postula en la Ilustración 5.

Un estudio realizado por Loza del Carpio y Ccancapa (2020) señalaron que la actividad minera de la Mina La Rinconada, en Perú, fue el principal responsable de la contaminación del río, debido al vertido de desechos y relaves mineros, encontrando niveles de (As) superiores al límite permisible por los estándares de calidad ambiental. A ello, Paredes y Millán (2018) señalan que, las actividades mineras son las más frecuentes en exponer a los trabajadores de dicho sector a daños en los órganos internos, trastornos a nivel neurológico e incluso reproductivos, por otro lado, de acuerdo con la Asociación Latinoamérica de Pediatría (2020), existe una alta relación entre el tiempo de exposición (corto, mediano y largo plazo) a las sustancias químicas tóxicas provenientes de la actividad minera y la afectación en la salud.

- **Tiempo de residencia**

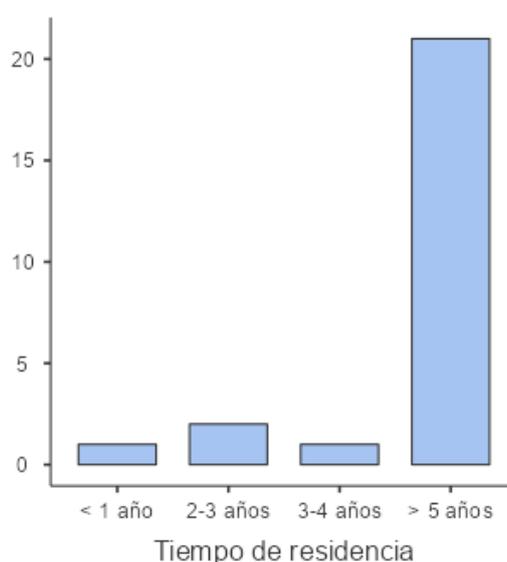


Ilustración 5. Frecuencia en el tiempo de vivencia de la comunidad aledaña al sector

En la ilustración 6 se indica el tiempo de residencia de la comunidad aledaña al río siete, siendo el 84% (n = 21) de la población que señaló habitar en el sector en un tiempo superior a los 5 años, mientras que, el 8% (n = 2) un periodo entre 2 – 3 años, y un 4% indicó que viven entre 3 – 4 años (n = 1), y menor a un año (n =1) en cada caso. Esto sugiere que una proporción considerable de la población encuestada presenta una exposición significativa a la intoxicación por metales pesados. Este fenómeno está asociado a una prolongada duración de la exposición, lo que favorece la bioacumulación de estos metales en órganos específicos del organismo.

Para Apraez (2023), los problemas en la calidad de salud aumentan con la prolongación de exposición a la fuente de contaminación, siendo más perjudicial en ciertos metales pesados como el cadmio, mercurio y plomo, ya que, provocando la aparición de síntomas y patologías, al interferir con procesos biológicos y fisiológicos.

Uso del agua del río siete

Tabla 8. Frecuencia de las actividades cotidianas en las que se emplea el agua del río Siete.

Actividades	Frecuencia	Porcentaje de respuesta
Bañarse	14	30.43
Lavar ropa	11	23.92
Riego	13	28.25
Pesca	0	0.00
Otras actividades domesticas	5	10.86
No usa el agua	3	6.52
Total:	46	100.00

Nota. Estas respuestas fueron proporcionadas por 25 casos.

El análisis de la frecuencia de uso del agua del río Siete expresado en la Tabla 9 indica que la mayor parte de los encuestados utiliza el agua para riego (28.25%) y para bañarse (30.43%), lo que resalta la dependencia de la población ribereña hacia esta fuente de agua. Estos resultados son preocupantes si se considera la presencia de metales pesados identificados en el análisis químico, ya que el contacto con agua contaminada podría representar un riesgo directo para la salud humana y la calidad de los cultivos. Investigaciones previas han demostrado que la absorción de metales pesados a través de la piel o la irrigación de cultivos con agua contaminada puede generar efectos tóxicos en los organismos expuestos a largo plazo.

El lavado de ropa (23.92%) también representa un uso significativo del agua del río Siete, lo que implica una exposición frecuente de la población a los contaminantes presentes. Además, un 10.86% de los encuestados reportó utilizar el agua para otras actividades domésticas, lo que indica que la contaminación del río podría tener un impacto más amplio en la vida cotidiana de la comunidad. Contrario a esto, ninguna persona reportó emplear el agua para pesca (0.00%), lo que podría deberse a la baja disponibilidad de peces en el ecosistema, posiblemente afectado por la contaminación química y la alteración del hábitat acuático.

Finalmente, un 6.52% de los encuestados manifestó no utilizar el agua del río, lo que sugiere que una parte de la población ya ha optado por fuentes alternativas, posiblemente debido a la percepción de contaminación. Este dato es relevante para diseñar estrategias de concienciación y alternativas de abastecimiento de agua potable. En conjunto, los resultados evidencian que, a pesar de la contaminación del río Siete, una gran parte de la comunidad continúa dependiendo de su agua para diversas actividades, lo que refuerza la necesidad de implementar medidas de monitoreo, tratamiento y concienciación sobre los riesgos asociados

Para Ahmadi-Jouibari et al. (2023); Idrovo et al. (2018), el uso de aguas residuales domésticas e industriales para el riego agrícola ha sido cuestionable recientemente debido a la alta prevalencia de metales pesados en dichas aguas, lo que, en consecuencia, el uso prolongado en las plantas aumenta el contenido de metales pesados en el suelo y, a su vez en las partes comestibles dirigidas ya sea para consumo humano o animal. A su vez, Doabi et al. (2018), ratifica que, la acumulación de los elementos tóxicos en el suelo disminuye la fertilidad de este y, por ende, la calidad de los cultivos.

Principales problemas de salud relacionados con la contaminación por metales pesados.

Tabla 9. Frecuencia de los problemas en la salud que presenta la población objeto de estudio en los últimos 2 años

Actividades	Frecuencia	Porcentaje de frecuencias
Lesiones en la piel, caída de cabello	20	51.28
Sensación de hormigueo y debilidad muscular	6	15.38
Dolor abdominal, diarrea crónica, estreñimiento y pérdida peso	3	7.69
Daño renal, insuficiencia renal aguda	0	0.00
Osteoporosis y fracturas espontáneas	4	10.26
Pérdida de apetito, anemia	3	7.69
Aumento de la presión arterial o alguna enfermedad cardíaca	0	0.00
Temblores, ansiedad, pérdida de memoria y trastornos del habla	0	0.00
No he presentado problemas en la salud	3	7.69
Total:	39	100.00

Nota. Estas respuestas fueron proporcionadas por 25 casos.

Por otro lado, en Tabla 10 proporciona el desglose de las principales manifestaciones clínicas que han reportado de forma individualizada la comunidad o sus familiares, no obstante, es fundamental recalcar que los encuestados podían señalar múltiples opciones. El análisis de las enfermedades reportadas en la comunidad ribereña del río Siete, nos indica que las lesiones en la piel y la caída del cabello (51.28%) son los problemas de salud más frecuentes entre los encuestados. Estos síntomas pueden estar relacionados con la exposición prolongada a metales pesados como arsénico y mercurio, los cuales han sido detectados en concentraciones elevadas en el agua del río. Estudios previos han demostrado que la exposición dérmica al arsénico puede provocar dermatitis, hiperpigmentación y queratosis, lo que coincide con los síntomas reportados por la comunidad. La alta prevalencia de este problema de salud sugiere un impacto directo de la contaminación del agua en la población local.

Otro grupo significativo de encuestados (15.38%) reportó sensación de hormigueo y debilidad muscular, síntomas que pueden estar asociados con la intoxicación crónica por plomo y mercurio. Estos metales afectan el sistema nervioso y pueden provocar daños neuromusculares con el tiempo. En investigaciones previas sobre comunidades expuestas a contaminación por metales pesados, se ha identificado

que el contacto prolongado con plomo está relacionado con neuropatías periféricas, pérdida de coordinación y alteraciones en la función motora. La presencia de estos síntomas en la comunidad del río Siete es un indicio preocupante sobre la posible bioacumulación de estos metales en los habitantes.

Un 7.69% de los encuestados indicó padecer dolor abdominal, diarrea crónica, estreñimiento y pérdida de peso, lo que podría estar vinculado a la ingestión prolongada de agua contaminada con cadmio o arsénico. Estos metales son conocidos por causar trastornos gastrointestinales y daño hepático, especialmente cuando la exposición es constante. Además, se reportaron casos de osteoporosis y fracturas espontáneas (10.26%), lo que podría estar relacionado con la presencia de cadmio en el agua, ya que este metal interfiere en la absorción de calcio y contribuye al debilitamiento óseo.

Finalmente, un 7.69% de los encuestados afirmó no haber presentado problemas de salud, lo que indica que algunos individuos han desarrollado resistencia o que su exposición a los metales pesados ha sido limitada. No obstante, el hecho de que un porcentaje considerable de la población manifieste síntomas característicos de intoxicación por metales pesados refuerza la necesidad de implementar medidas urgentes para reducir la exposición a la contaminación del agua y garantizar la seguridad sanitaria de la comunidad.

De acuerdo con Kazi et al. (2009), concentraciones elevadas de arsénico en agua potable desencadenan problemas cutáneos, principalmente se han reportado casos de queratosis y melanosis. Además, indicaron que, el consumo de agua con elevadas dosis de arsénico provocó la caída de cabello en ciertos individuos que residen en sectores aledaños a las aguas contaminadas, lo cual, es indicio que, las enfermedades cutáneas son las complicaciones más comunes en las intoxicaciones por arsénico. Otro estudio ejecutado en Bangladesh realizado por Arif et al. (2020), señaló una alta prevalencia de sarna en los residentes locales del agua contaminada.

Los análisis de Mawari et al. (2022); Nieboer et al. (2013); Saravanan et al. (2024), corroboran que, los niveles de Pb y Cd elevados en las aguas potables afectan al sistema nervioso central, lo que aumenta el riesgo de osteoporosis, trastornos pulmonares y, con menor prevalencia cáncer. Pineda (2022) anuncia que, la principal complicación generada por el Pb es la anemia, ya que interfiere con la síntesis del hematocrito, disminuyendo de tal modo la vida media de los glóbulos rojos. Navas-Acien et al. (2007), agregó que, las elevadas cantidades de Pb generan hipertensión arterial, alteraciones renales y cardíacas, debilidad en el sistema endócrino, inmunológico y

esquelético, siendo a este último al que se atribuiría las sensaciones de hormigueo, debilidad muscular, pérdida de peso y apetito.

Por otro lado, Mawari et al. (2022), mostró que el arsénico presente en el agua potable a desarrollo en los individuos que la han consumido problemas gastrointestinales; dolor abdominal y heces blandas con alta frecuencia, relacionado con problemas diarreicos. No obstante, algunos estudios sugieren no descartar la presencia de patógenos entéricos en las aguas contaminadas o residuales.

El estudio sobre cómo la comunidad percibe la contaminación en el Río Siete pone de manifiesto una brecha considerable en el entendimiento de los peligros asociados a los metales pesados. Mientras que el 60% de los participantes reporta estar al tanto, posiblemente debido a la información difundida en medios locales o a vivencias personales, el 40% restante evidencia una falta importante de acceso a datos relevantes. Esto destaca la necesidad apremiante de establecer programas educativos más inclusivos y efectivos que promuevan la concienciación en toda la población.

CONCLUSIONES

Se evaluaron los niveles de contaminación de las aguas del Río Siete, lo que deja en evidencia una contaminación significativa por metales pesados, teniendo una relación directa con las actividades mineras de la región. De acuerdo con los análisis químicos realizados, los niveles de plomo y arsénico en las muestras 2 y 3 superaron los límites permisibles establecidos por normativas nacionales (INEN 1108:2020 y TULSMA) e internacionales (OMS). Dependencia de la comunidad en el agua del río: A pesar de la contaminación del río, un porcentaje significativo de la población sigue utilizando su agua para riego (26.53%), aseo personal (24.49%) y lavado de ropa (22.45%), lo que aumenta la exposición a los contaminantes. La falta de alternativas de abastecimiento seguro de agua potable agrava la vulnerabilidad de la comunidad ante problemas de salud.

El análisis fisicoquímico del río Siete evidenció variaciones significativas en pH, conductividad eléctrica y sólidos totales, lo que sugiere la presencia de contaminantes de origen antrópico. La conductividad eléctrica elevada en algunos puntos indica una posible influencia de descargas industriales o agrícolas, mientras que el aumento en los sólidos suspendidos podría estar relacionado con la erosión del suelo y la escorrentía superficial. Enfermedades asociadas a la exposición al agua contaminada: Los síntomas más reportados por la población incluyen lesiones en la piel, caída del cabello (51.28%), debilidad muscular (15.38%) y trastornos gastrointestinales (7.69%), los cuales coinciden con los efectos clínicos de la intoxicación por arsénico, plomo y cadmio. Estos hallazgos confirman la relación entre la contaminación del agua y el deterioro de la salud de la comunidad ribereña.

RECOMENDACIONES

- Resulta fundamental la intervención gubernamental a través de análisis en las aguas de los efluentes naturales, como se evidencia en el presente estudio realizado en el río Siete. Esto se debe a la intensa actividad minera en la zona, que implica un riesgo significativo de contaminación por metales pesados. Dicha contaminación afecta a esta fuente de agua, la cual es utilizada para actividades cotidianas como la agricultura, la ganadería, el aseo personal y otras prácticas, exponiendo a la población a riesgos sanitarios considerables. Asimismo, se destaca la relevancia de implementar investigaciones dirigidas a identificar metales pesados en los individuos de la comunidad, como medida preventiva para reducir la incidencia de enfermedades relacionadas con dicha exposición.
- Realizar monitoreos constantes de los parámetros fisicoquímicos del agua del río, así como, la presencia de metales pesados en concentraciones que implicarían una afectación grave en la calidad de vida de los habitantes aledaños al sector.
- Recomendar la realización de campañas de concientización a través de la intervención de personal capacitado para que adviertan a la comunidad de los posibles efectos adversos que ocasionan los metales pesados en la salud a mediano y largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad, W., Alharthy, R. D., Zubair, M., Ahmed, M., Hameed, A., & Rafique, S. (2021). Toxic and heavy metals contamination assessment in soil and water to evaluate human health risk. *Scientific Reports*, 11(1), 17006. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94616-4>
- Ahmadi-Jouibari, T., Ahmadi Jouybari, H., Sharafi, K., Heydari, M., & Fattahi, N. (2023). Assessment of potentially toxic elements in vegetables and soil samples irrigated with treated sewage and human health risk assessment. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 103(10), 2351-2367. <https://doi.org/10.1080/03067319.2021.1893704>
- Angamarca, D., & Valarezo, L. (2020). *Determinación de la contaminación del recurso hídrico provocado por la actividad minera en la cuenca alta del Río Santa Rosa, provincia de El Oro* [bachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19334>
- Apraez, D. (2023). *Estudio sobre la prevalencia de metales pesados cadmio (Cd) y plomo (Pb) en arroz* [Tesis, Universidad Central del Ecuador]. <https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/9df36fd6-0366-4131-b477-464da23ce51f/content>
- Arif, A., Malik, M., Liaqat, S., Aslam, A., Mumtaz, K., & Afzal, A. (2020). Water Pollution and Industries. *Pure Appl. Biol. (PAB)*, 3(4), 2214-2224. <https://doi.org/10.19045/bspab.2020.90237>
- Asociación Latinoamericana de Pediatría. (2020). *Impacto de la Minería en la Salud humana y en el Ambiente*. Sociedad Argentina de Pediatría. https://www.sap.org.ar/uploads/archivos/general/files_impacto-de-la-mineria-en-la-salud-humana-y-en-el-ambiente-12-20_1607596789.pdf
- Aveiga, A. M., Banchón, C. L., Mendoza, L. G., Calderón, J. M., & Delgado Moreira, M. I. (2022). Distribución de metales pesados en agua, sedimentos y peces del río Carrizal, Ecuador. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 43(3), 13-23.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1680-03382022000300013&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Bastidas, L. (2024). *EL CADMIO EN EL SUELO Y SU EFECTO EN EL CULTIVO DEL PALTO (Persea americana Mill.)* [Informativa, UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA].

<http://45.231.83.156/bitstream/handle/20.500.12996/6168/bastidas-yauta-lenny-johana.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Brousett-Minaya, M. A., Rondan-Sanabria, G. G., Chirinos-Marroquín, M., & Biamont-Rojas, I. (2021). Impacto de la Minería en Aguas Superficiales de la Región Puno—Perú. *Fides et Ratio - Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 21(21), 187-208.

http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2071-081X2021000100011&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Cabral-Pinto, M. M. S., Inácio, M., Neves, O., Almeida, A. A., Pinto, E., Oliveiros, B., & Ferreira da Silva, E. A. (2020). Human Health Risk Assessment Due to Agricultural Activities and Crop Consumption in the Surroundings of an Industrial Area. *Exposure and Health*, 12(4), 629-640. <https://doi.org/10.1007/s12403-019-00323-x>

Castro, D. (2019). *Situación actual de la minería en Ecuador* [bachelorThesis, Quito: Universidad de las Américas, 2019].

<http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/10995>

Castro López, C. R., Castillo Rodríguez, L. M., Castro López, C. R., & Castillo Rodríguez, L. M. (2024). Contaminantes orgánicos persistentes: Impactos y medidas de control. *Manglar*, 21(1), 135-148. <https://doi.org/10.57188/manglar.2024.014>

Chen, Z., Zhang, Z., Qi, J., You, J., Ma, J., & Chen, L. (2023). Colorimetric detection of heavy metal ions with various chromogenic materials: Strategies and applications. *Journal of Hazardous Materials*, 441, 129889. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129889>

- Cipriani-Avila, I., Molinero, J., Jara-Negrete, E., Barrado, M., Arcos, C., Mafla, S., Custode, F., Vilaña, G., Carpintero, N., & Ochoa-Herrera, V. (2020). Heavy metal assessment in drinking waters of Ecuador: Quito, Ibarra and Guayaquil. *Journal of Water and Health*, 18(6), 1050-1064. <https://doi.org/10.2166/wh.2020.093>
- Comité Permanente por la Defensa de los Derechos Humanos. (2020, agosto 26). *Contaminación de ríos por minería en Tenguel—Comité Permanente por la Defensa de los Derechos Humanos*. Contaminación de ríos por minería en Tenguel. <https://www.cdh.org.ec/testimonios/467-contaminacion-de-rios-por-mineria-en-tenguel.html>
- Daquilema, A. (2021). *Análisis de metales pesados en el atún* [Universidad Técnica de Machala]. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/16696>
- Díaz, M., & López, E. (2021). *Metales pesados en nuestra mesa: Contaminación de peces de consumo humano en Colombia*. Universidad Sergio Arboleda. <https://elibro.net/es/ereader/utmachala/212136>
- Doabi, S. A., Karami, M., Afyuni, M., & Yeganeh, M. (2018). Pollution and health risk assessment of heavy metals in agricultural soil, atmospheric dust and major food crops in Kermanshah province, Iran. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 163, 153-164. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.07.057>
- Escobar-Segovia, K., Jimenez-Oyola, S., Garc-s-Le-n, D., Paz-Barzola, D., Chavez, E., Romero-Crespo, P., & Salgado, B. (2021). HEAVY METALS EN RIVERS AFFECTED POR ACTIVIDADES MINING EN ECUADOR: POLLUTION Y HUMANHEALTH IMPLICACIONES. *WIT Transacciones en Ecología y Medio Ambiente*, 250, 12. <https://doi.org/10.2495/WRM210061>
- Fawkes, L., & Sansom, G. (2021). Preliminary Study of Lead-Contaminated Drinking Water in Public Parks—An Assessment of Equity and Exposure Risks in Two Texas Communities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(12), 6443. <https://doi.org/10.3390/ijerph18126443>

- Hermoso de Mendoza, M., Soler, F., García-Fernández, E., Llana, L., & Pérez-López, M. (2011). Diferencias del sexo y de la edad en el contenido de metales pesados (Cd, Cu, Pb y Zn) en pelos de lobo ibérico (*Canis lupus signatus*) del Norte de España. *Revista de Toxicología*, 28(2), 140-146. <https://www.redalyc.org/pdf/919/91922431005.pdf>
- Idrovo, J., Gavilanes, I., Veloz, N., Erazo, R., & Valverde, H. (2018). *Cuantificación de metales en aguas de riego. Estudio de caso en la provincia de Chimborazo*. 19(1), 21-29. <http://dspace.esoch.edu.ec/handle/123456789/9380>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS. NTE INEN 2169:2013*. Primera revisión. <https://www.insistec.ec/images/insistec/02-cliente/07-descargas/NTE%20INEN%202169%20-%20AGUA.%20%20CALIDAD%20DEL%20AGUA.%20%20MUESTREO.%20%20MANEJO%20Y%20CONSERVACION%20DE%20MUESTRAS.pdf>
- Järup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *British medical bulletin*, 68, 167-182. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldg032>
- Karak, P. (2022). Arsenic Contamination and Its Impact on the Human. *Current World Environment*, 17(1), 58-73. <https://doi.org/10.12944/CWE.17.1.6>
- Kazi, T. G., Arain, M. B., Baig, J. A., Jamali, M. K., Afridi, H. I., & Jalbani, N. (2009). The Correlation of Arsenic Levels in Drinking Water with the Biological Samples of Skin Disorders. *Sci. Total Environ.*, 407(3), 1019-1026. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.10.013>
- Khan, S. R., Sharma, B., Chawla, P. A., & Bhatia, R. (2022). Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES): A Powerful Analytical Technique for Elemental Analysis. *Food Analytical Methods*, 15(3), 666-688. <https://doi.org/10.1007/s12161-021-02148-4>
- Lalangui, K., Lema, E. A., García, F. S., Mariscal, W., & Mariscal, R. S. (2017). Determinación de Mercurio en atún enlatado por Espectrofotometría de

- Absorción Atómica. *Dominio de las Ciencias*, 3(4), 148-164.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6325499>
- Lin, L., Yang, H., & Xu, X. (2022). Effects of Water Pollution on Human Health and Disease Heterogeneity: A Review. *Frontiers in Environmental Science*, 10.
<https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.880246>
- Loza del Carpio, A. L., & Ccancapa, Y. (2020). MERCURY IN A HIGH ALTITUDE ANDES STREAM WITH STRONG IMPACT BY ARTISANAL AURIFER MINING (LA RINCONADA, PUNO, PERU). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(1), 33-44. <https://doi.org/10.20937/rica.2020.36.53317>
- Mancilla-Villa, O. R., Gómez-Villaseñor, L., Palomera-García, C., Hernández-Vargas, O., Guevara-Gutiérrez, R. D., Ortega-Escobar, H. M., Flores-Magdaleno, H., Canculim, Á., Sánchez-Bernal, E. I., Avelar-Roblero, J. U., & Cruz-Crespo, E. (2023). Metales pesados en agua y macroinvertebrados de la cuenca del río Ayuquila-Armería (México) y sus afluentes. *Terra Latinoamericana*, 41.
<https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1603>
- Mano, H., Iwasaki, Y., & Shinohara, N. (2022). Effect-based water quality assessment of rivers receiving discharges from legacy mines by using acute and chronic bioassays with two cladoceran species. *Water Supply*, 22(4), 3603-3616.
<https://doi.org/10.2166/ws.2022.003>
- Matés, J. M., Segura, J. A., Alonso, F. J., & Márquez, J. (2010). Roles of dioxins and heavy metals in cancer and neurological diseases using ROS-mediated mechanisms. *Free Radical Biology & Medicine*, 49(9), 1328-1341.
<https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2010.07.028>
- Mawari, G., Kumar, N., Sarkar, S., Frank, A. L., Daga, M. K., Singh, M. M., Joshi, T. K., & Singh, I. (2022). Human Health Risk Assessment due to Heavy Metals in Ground and Surface Water and Association of Diseases With Drinking Water Sources: A Study From Maharashtra, India. *Environmental Health Insights*, 16, 11786302221146020. <https://doi.org/10.1177/11786302221146020>

- Medina-Pizzali, M., Robles, P., Mendoza, M., & Torres, C. (2018). INGESTA DE ARSÉNICO: EL IMPACTO EN LA ALIMENTACIÓN Y LA SALUD HUMANA. *Rev Peru Med Exp Salud*, 35(1), 93-102. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.351.3604>.
- Méndez Zambrano, P. V., Arcos Logroño, J. P., & Cazorla Vinuesa, X. R. (2020). Determinación del índice de calidad del agua (NSF) del río Copueno ubicado en Cantón Morona. *Dominio de las Ciencias*, 6(Extra 3), 734-746. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7504260>
- Mendoza, C., & Hernández, R. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (primera edición). McGRAW-HILL INTERAMERICANA.
- Ministerio de Energía & Ministerio de Energía y Mina. (1998). *Monitoreo Ambiental de las áreas mineras en el sur de Ecuador. PRODEMINCA*.
- Ministerio del Ambiente. (2020). *Línea de base nacional para la minería artesanal y en pequeña escala de oro en Ecuador, conforme la Convención de Minamata sobre Mercurio*. Fondo para el Medio Ambiente Mundial, Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial & Artisanal Gold Council. <https://bit.ly/3yMnbEi>
- Mohammadi, A. A., Zarei, A., Esmailzadeh, M., Taghavi, M., Yousefi, M., Yousefi, Z., Sedighi, F., & Javan, S. (2020). Assessment of Heavy Metal Pollution and Human Health Risks Assessment in Soils Around an Industrial Zone in Neyshabur, Iran. *Biological Trace Element Research*, 195(1), 343-352. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01816-1>
- Mohsin, M., Zhu, Q., Naseem, S., Sarfraz, M., & Ivascu, L. (2021). Mining Industry Impact on Environmental Sustainability, Economic Growth, Social Interaction, and Public Health: An Application of Semi-Quantitative Mathematical Approach. *Processes*, 9(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/pr9060972>

- Mora, A., Jumbo-Flores, D., González-Merizalde, M., Bermeo-Flores, S. A., Mora, A., Jumbo-Flores, D., González-Merizalde, M., & Bermeo-Flores, S. A. (2016). Niveles de metales pesados en sedimentos de la cuenca del río Puyango, Ecuador. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 32(4), 385-397. <https://doi.org/10.20937/rica.2016.32.04.02>
- Navas-Acien, A., Guallar, E., Silbergeld, E. K., & Rothenberg, S. J. (2007). Lead exposure and cardiovascular disease—A systematic review. *Environmental Health Perspectives*, 115(3), 472-482. <https://doi.org/10.1289/ehp.9785>
- Nieboer, E., Tsuji, L. J. S., Martin, I. D., & Liberda, E. N. (2013). Human biomonitoring issues related to lead exposure. *Environmental Science. Processes & Impacts*, 15(10), 1824-1829. <https://doi.org/10.1039/c3em00270e>
- NORMATIVA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN & 1108. (2020, marzo 6). *AGUA PARA CONSUMO HUMANO. REQUISITOS*. Servicio Ecuatoriano de Normalización. <https://studylib.net/doc/25540804/agua-potable-n-inen-1108-6-marzo-2020>
- Octavio-Aguilar, P., & Olmos-Palma, D. A. (2022). Efectos sobre la salud del agua contaminada por metales pesados. *Herreriana*, 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.29057/h.v4i1.8630>
- Olivero-Verbel, J., Caballero-Gallardo, K., & Negrete-Marrugo, J. (2011). Relationship Between Localization of Gold Mining Areas and Hair Mercury Levels in People from Bolivar, North of Colombia. *Biological Trace Element Research*, 144(1), 118-132. <https://doi.org/10.1007/s12011-011-9046-5>
- Organización Mundial de la Salud. (2022). Directrices de la OMS para otros factores de riesgo clave de la vivienda. En *Directrices de la OMS sobre vivienda y salud [Internet]*. Organización Panamericana de la Salud. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK583409/>
- Oviedo-Anchundia, R., Moína-Quimí, E., Naranjo-Morán, J., & Barcos-Arias, M. (2017). Contaminación por metales pesados en el sur del Ecuador asociada a la

actividad minera. *Bionatura*, 2(4), 437-441.

<https://doi.org/10.21931/RB/2017.02.04.5>

Pardo, A. (2015). *Análisis de la contaminación por metales pesados en el río Santa Rosa como fuente de abastecimiento de AAPP de la ciudad de Santa Rosa, provincia de El Oro* [Universidad Técnica de Machala]. https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/5143/1/TPTUAIC_2015_SANIT_CD0019.pdf

Paredes, J., & Millán, J. (2018). *Riesgos químicos. Condiciones de salud por exposición a sustancias químicas*. Ediciones de la U. <https://edicionesdelau.com/producto/riesgos-quimicos-condiciones-de-salud-por-exposicion-a-sustancias-quimicas/>

Parra, H. (2022). Impacts of Mining Activity in the Canton Ponce Enríquez, Province of Azuay, 2010-2020. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*, 906-919. <https://doi.org/10.18502/epoch.v2i3.11589>

Paz, V., & Cuero, P. (2020). Evaluación de la contaminación por plomo de la refinería Esmeraldas, en la sangre de la población de Vuelta Larga. *Horizontes de Enfermería*, 10, Article 10. <https://doi.org/10.32645/13906984.994>

Paz-Barzola, D., Escobar-Segovia, K., & Oyola, S. J. (2022). Evaluación de la calidad del suelo en núcleos poblados cercanos a la zona minera aurífera de Ponce Enríquez. *Enfoque UTE*, 13(4), Article 4. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.811>

Pineda, A. (2022). *Métodos analíticos para la identificación del plomo en el organismo y sus principales tratamientos farmacológicos*. [Universidad Técnica de Machala]. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/18686>

Primicias. (2021, mayo 28). *Descargas mineras: Estudio halla contaminación en ríos del sur de Ecuador*. Primicias. <https://www.primicias.ec/noticias/tecnologia/contaminacion-relaves-mineros-rios-sur-ecuador/>

- Quezada, J. (2021). *PRESENCIA DE METALES PESADOS EN AGUA DE RÍOS Y LAS AFECTACIONES CLÍNICAS PRODUCIDAS EN EL SER HUMANO* [Informativa, Universidad Técnica de Machala]. https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/17028/1/E-12236_QUEZADA%20URGILES%20JESSICA%20ELIZABETH.pdf
- Ricks, D. (2023). *El impacto de la toxicidad de la contaminación del agua de plomo en los organismos acuáticos* [Informativa]. Asociación Americana para el Avance de la Ciencia. <https://emerging-researchers.org/projects/12999/>
- Rocha-Román, L., Olivero-Verbel, J., Caballero-Gallardo, K. R., Rocha-Román, L., Olivero-Verbel, J., & Caballero-Gallardo, K. R. (2018). IMPACTO DE LA MINERÍA DEL ORO ASOCIADO CON LA CONTAMINACIÓN POR MERCURIO EN SUELO SUPERFICIAL DE SAN MARTÍN DE LOBA, SUR DE BOLÍVAR (COLOMBIA). *Revista internacional de contaminación ambiental*, 34(1), 93-102. <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.01.08>
- Saravanan, P., Saravanan, V., Rajeshkannan, R., Arnica, G., Rajasimman, M., Baskar, G., & Pugazhendhi, A. (2024). Comprehensive review on toxic heavy metals in the aquatic system: Sources, identification, treatment strategies, and health risk assessment. *Environmental Research*, 258, 119440. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119440>
- Tucto, M. A. B., Zambrano, P. V. M., Barba, R. A. A., & Vinueza, X. R. C. (2022). Evaluación de la contaminación por metales pesados del Río Cuchipamba, Morona Santiago. *Polo del Conocimiento*, 7(7), Article 7. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i7.4328>
- Vilela-Pincay, W., Espinosa-Encarnación, M., & Bravo-González, A. (2020). La contaminación ambiental ocasionada por la minería en la provincia de El Oro. *Estudios de la Gestión: Revista Internacional de Administración*, 8, Article 8. <https://doi.org/10.32719/25506641.2020.8.8>

- Villamar Marazita, K., Zambrano Anchundia, J., Aguilar, C., Filian, K., Flores, N., Romero Crespo, P., & Garcés, D. (2023). Heavy Metal Pollution Assessment in surface and groundwater in the Ponce Enríquez mining area, Ecuador. *LACCEI*, 1(8), Article 8. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.493>
- Villarín, M. C., & Merel, S. (2020). Paradigm shifts and current challenges in wastewater management. *Journal of Hazardous Materials*, 390, 122139. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122139>
- Wang, X., Zhang, M., Cohen, I. S., & Goldberg, M. E. (2007). The proprioceptive representation of eye position in monkey primary somatosensory cortex. *Nature Neuroscience*, 10(5), 640-646. <https://doi.org/10.1038/nn1878>
- Worlanyo, A. S., & Jiangfeng, L. (2021). Evaluating the environmental and economic impact of mining for post-mined land restoration and land-use: A review. *Journal of Environmental Management*, 279, 111623. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111623>
- Wu, Z., Zhang, L., Xia, T., Jia, X., & Wang, S. (2020). Heavy metal pollution and human health risk assessment at mercury smelting sites in Wanshan district of Guizhou Province, China. *RSC Advances*, 10(39), 23066-23079. <https://doi.org/10.1039/D0RA01004A>
- Zamora-Ledezma, C., Negrete-Bolagay, D., Figueroa, F., Zamora-Ledezma, E., Ni, M., Alexis, F., & Guerrero, V. H. (2021). Heavy metal water pollution: A fresh look about hazards, novel and conventional remediation methods. *Environmental Technology & Innovation*, 22, 101504. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101504>
- Zorilla. (2013, julio 15). Minería de cobre y sus impactos en Ecuador [Extractivismo]. *Minería de cobre y sus impactos en Ecuador*. <https://extractivismo.com/2013/07/mineria-de-cobre-y-sus-impactos-en-ecuador/>
- Zumbado, H. (2021). *Análisis Instrumental de los Alimentos* (primera). La Habana: Editorial Universitaria.

ANEXOS

Anexo 1. Cuestionario aplicado a la población objeto de estudio



ENCUESTA DIRIGIDA MORADORES DE LAS RIVERAS DEL RÍO SIETE

TEMA: "NIVELES DE METALES PESADOS EN EL RÍO SIETE Y SU RELACIÓN CON PROBLEMAS DE SALUD EN LAS COMUNIDADES RIVERENAS."

Objetivo: Determinar la relación entre la exposición al agua del Río Siete y la prevalencia de problemas de salud en la comunidad ribereña, recopilando información sobre el uso del agua y los síntomas reportados. Identificar posibles efectos adversos en la salud derivados de la contaminación por metales pesados.

La información que nos brinde será confidencial y solo será utilizada para esta investigación. Agradecemos de antemano su colaboración.

Instrucciones: Marque con una "X" la respuesta que considere más adecuada.

Acepto voluntariamente ser parte de este estudio. SI () NO ()

1. ¿Cuál es su edad?

2. ¿Cuál es su género?

- Femenino
 Masculino

3. ¿Cuál es su ocupación principal?

- Minería
 Agricultura
 Ganadería
 Otro

Respuesta: _____

4. ¿Cuántos años ha vivido en esta comunidad?

- Menos de 1 año
 2 - 3 años
 3 - 4 años
 Más de 5 años

5. ¿Utiliza el agua del Río Siete para alguna de las siguientes actividades? Marque todas las que correspondan.

- Beber
 Cocinar
 Bañarse
 Lavar la ropa
 Riego
 Pesca
 Otra

6. ¿Con qué frecuencia usa el agua del Río Siete para actividades diarias?

- Diariamente
 Semanalmente
 Mensualmente
 No utiliza el agua

7. ¿Bebe agua del Río Siete? Si es así, ¿qué tratamiento utiliza antes de consumirla?

- Hervir el agua
 Cloración
 No realiza tratamientos para consumirla

8. ¿Conoce usted si en la zona del Río Siete se realizan actividades mineras y si éstas afectan la calidad del agua?

- Sí
 No

9. ¿Cómo calificaría la calidad del agua del Río Siete? Si la considera mala o muy mala, ¿qué cambios a notado en el color u olor del agua del Río Siete?

- Muy Buena
 Buena
 Regular
 Mala
 Muy mala

Respuesta: _____

10. ¿Ha presentado usted o un familiar problemas de salud relacionados tras el consumo de agua del Río Siete en los últimos 2 años? Si es así, qué problemas en la salud ha notado.

- Lesiones en la piel (Manchas oscuras y engrosamiento), Caída de cabello
 Sensación de hormigueo y debilidad muscular
 Dolor abdominal, diarrea crónica, crisis de estreñimiento y pérdida de peso.
 Daño renal, insuficiencia renal aguda
 Osteoporosis y fracturas espontáneas

- Pérdida de apetito, Anemia
 Aumento de la presión arterial o algún tipo de enfermedad cardíaca.
 Temblores, ansiedad, pérdida de memoria y trastornos del habla.
 No he presentado problemas en la salud

11. ¿Cuánto tiempo han durado estos problemas de salud?

- 6 - 12 meses
 12 meses o más
 1 - 3 años
 5 años o más

12. ¿Ha recibido algún diagnóstico médico que relacione estos problemas de salud con la calidad del agua del Río? Si es así, qué diagnóstico ha recibido.

- Sí
 No

Respuesta: _____

13. ¿Está consciente de la posible contaminación del Río Siete por metales pesados?

- Sí
 No

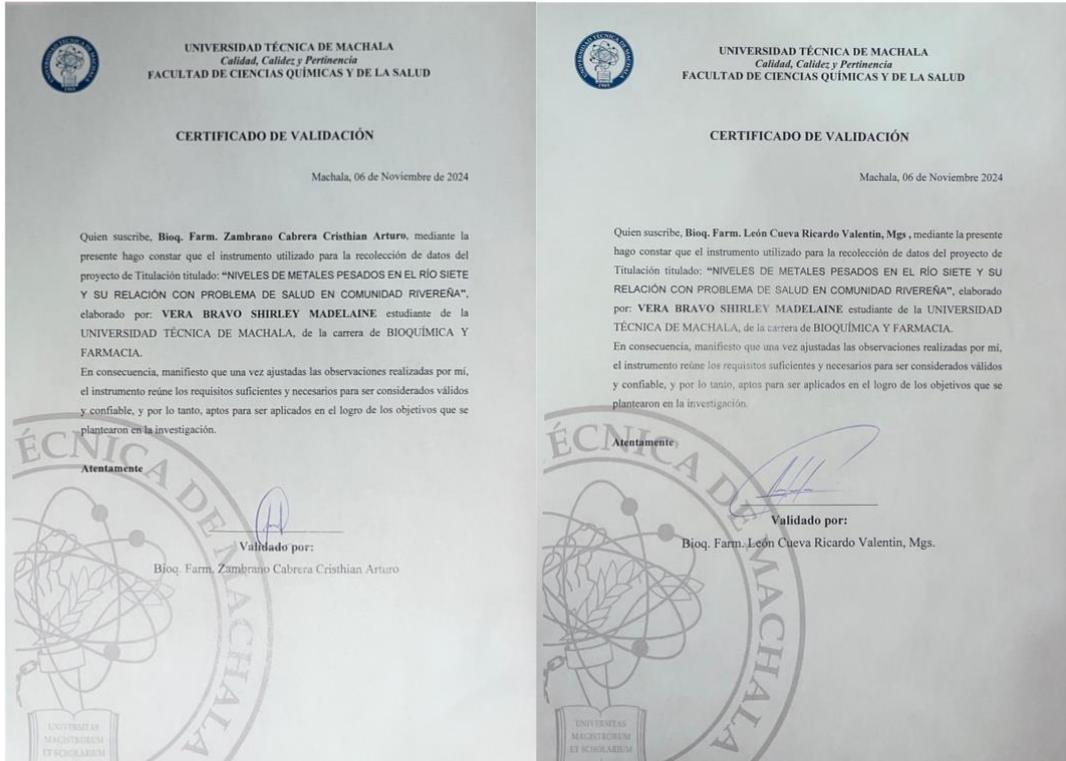
14. ¿Cree que el gobierno local ha hecho lo suficiente para controlar la calidad del agua en el Río Siete?

- Sí
 No

15. ¿Qué acciones cree que se deberían tomar para mejorar la calidad del agua del Río Siete y la salud de la comunidad?

- Reducción de fuentes de contaminación
 Monitoreos y controles de calidad del agua
 Campañas comunitarias
 Otra.

Anexo 2. Certificado de validación para la aplicación de la encuesta a la comunidad ribereña.



Anexo 3. Evidencia de la aplicación de la encuesta a los moradores aledaños al río siete.



Anexo 4. Evidencia de la recolección de muestra de agua para análisis.

