

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS Y PARÁMETROS
MICROBIOLÓGICOS DEL RÍO CRUCERO DISTRITO DE ANANEA - 2025**

PRESENTADA POR:

MARLENI DIANA TICONA QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO – PERÚ

2025



Repositorio Institucional ALCIRA by [Universidad Privada San Carlos](https://www.upsc.edu.pe) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



7.59%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 13 DEC 2025, 12:34 AM

Similarity report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL
0.77%

● CHANGED TEXT
6.81%

Report #30643873

MARLENI DIANA TICONA QUISPE // CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS Y PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS DEL RÍO CRUCERO DISTRITO DE ANANEA - 2025 RESUMEN El presente estudio tuvo como objetivo determinar los niveles de concentración de metales pesados y parámetros microbiológicos en las aguas superficiales del río Crucero, distrito de Ananea (2025). Estándar de Calidad Ambiental (ECA), Subcategoría 3A (Riego de vegetales y bebida de animales). La investigación, de diseño no experimental descriptivo, como resultado mostró que las concentraciones promedio de metales pesados superan los límites permitidos por esta subcategoría, que regula metales pesados y parámetros microbiológicos como los coliformes termotolerantes. El mercurio (0.0017 mg/L), plomo (0.018 mg/L), y cadmio (0.0070 mg/L) exceden significativamente el Límite Máximo Permisible (LMP) o el Estándar de Calidad Ambiental (ECA). El Zinc (0.131 mg/L) también incumple el estándar, aunque marginalmente. En contraste, el arsénico (0.0039 mg/L) y el cobre (0.01mg/L) cumplen con los estándares normativos, el pH promedio (6.06) incumple la norma, resultando agua ácida que representa un riesgo para la vida acuática y potencia la toxicidad de los metales. Por otro lado, la conductividad eléctrica (0.42 μ S/cm) y los nitratos (0.32 mg/L) cumplen satisfactoriamente con los límites. Respecto a la calidad microbiológica, el promedio de coliformes termotolerantes (780 NMP/100ml) cumple ampliamente con el estándar normativo (2,000 NMP/100ml). Se

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TESIS
CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS Y PARÁMETROS
MICROBIOLÓGICOS DEL RÍO CRUCERO DISTRITO DE ANANEA - 2025
PRESENTADA POR:
MARLENI DIANA TICONA QUISPE
PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:


Dra. MARLENE CUSI MONTESINOS

PRIMER MIEMBRO

:


Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

SEGUNDO MIEMBRO

:


Mtra. NATALY SILVIA GARCIA VILCA

ASESOR DE TESIS

:


Mg. LUIS ALBERTH ROSSEL BERNEDO

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub Área: Ingeniería Ambiental

Línea de Investigación: Ciencias Ambientales

Puno, 19 de diciembre del 2025

DEDICATORIA

Agradezco a Dios, por brindarme salud y bienestar, agradezco por haberme iluminado y guiado en el transcurso de mi vida, y darme la oportunidad de concretar uno de mis objetivos.

Con mucho amor a mi padre Agapito que me brindó su apoyo incondicional e hizo posible cumplir unas de mis metas.

A mi madre Nemesia que me impulsó a seguir adelante con mis sueños.

A mi hermana Liliana que me guió en el transcurso de mis metas.

A mi pareja Frei que me apoyó en mis estudios.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Privada San Carlos, a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y su plana docente por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente.

A mi asesor de tesis, Mg. Luis Alberth Rossel Bernedo por su apoyo incondicional durante la realización de este trabajo de investigación.

A los jurados, Dra. Marlene Cusi Montesinos, Mg. Julio Wilfredo Cano Ojeda, Mtra. Nataly Silvia Garcia Vilca.

A mis familiares, por su apoyo en la ejecución de esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE GENERAL	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	14
1.1.2. PROBLEMA ESPECÍFICO	14
1.2. ANTECEDENTES	15
1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	15
1.2.2. ANTECEDENTES NACIONAL	16
1.2.3. ANTECEDENTES LOCAL	18
1.3. OBJETIVO	19
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	19
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO	20
2.1.1. MEDIO FÍSICO O MEDIO NATURAL	20

2.1.2. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN MINERÍA	21
2.1.3. IMPACTO AMBIENTAL EN MINERÍA	21
2.1.4. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL	22
2.1.5. AGUA	22
2.1.6. CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DEL AGUAS	22
2.1.7. MINERÍA EN EL PERÚ	23
2.1.8. METALES PESADOS	24
2.2. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	26
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
3.1. ZONA DE ESTUDIO	27
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	27
3.3. MÉTODOS Y VARIABLES	29
3.4. DISEÑO DE METODOLOGÍA POR OBJETIVO	29
3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	31
CAPÍTULO IV	
EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	
3.1. EVALUAR LAS CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS ESPECÍFICOS EN LAS AGUAS SUPERFICIALES DEL RÍO CRUCERO EN EL DISTRITO DE ANANEA	32
4.2. EVALUAR LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS EN LAS AGUAS SUPERFICIALES DEL RÍO CRUCERO EN EL DISTRITO DE ANANEA	37
CONCLUSIONES	43
RECOMENDACIONES	45
BIBLIOGRAFÍA	46
ANEXOS	50

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Coordenadas de puntos de muestreo	28
Tabla 02: Matriz de operación de variables	31
Tabla 03: Arsénico	32
Tabla 04: Cadmio disuelto	33
Tabla 05: Cobre	34
Tabla 06: Mercurio	34
Tabla 07: Plomo	35
Tabla 08: Zinc	36
Tabla 09: PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS: CE	37
Tabla 10: Nitratos	38
Tabla 11: pH	39
Tabla 12: PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS: Coliformes termotolerantes	40

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Georreferencia del lugar de investigación río Crucero	27
Figura 02: Ubicación de los puntos de muestreo del río Crucero.	28
Figura 03: Arsénico	32
Figura 04: Cadmio disuelto	33
Figura 05: Cobre	34
Figura 06: Mercurio	35
Figura 07: Plomo	36
Figura 08: Zinc	37
Figura 09: CE	38
Figura 10: Nitrato	39
Figura 11: pH	40
Figura 12: Coliformes termotolerantes	41
Figura 13: Recolección de muestra punto 1	53
Figura 14: Recolección de muestra punto 2	54
Figura 15: Recolección de muestra punto 3	55
Figura 16: Recojo de muestras	56

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia: concentración de metales pesados y parámetros microbiológicos del río crucero distrito de Ananea - 2025	51
Anexo 02: Resultados de concentración de metales pesados	52
Anexo 03: Evidencia fotográfica	53

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo determinar los niveles de concentración de metales pesados y parámetros microbiológicos en las aguas superficiales del río Crucero, distrito de Ananea (2025). El Estándar de Calidad Ambiental (ECA), debe cumplir los parámetros de la Categoría 4 para asegurar que no compromete la calidad del cuerpo de agua y su función ecológica, aplicando estrictos controles para la vida silvestre y el ambiente. La investigación, de diseño no experimental descriptivo, como resultado mostró que las concentraciones promedio de metales pesados superan los límites permitidos por esta subcategoría, que regula metales pesados y parámetros microbiológicos como los coliformes termotolerantes. El mercurio (0.0017 mg/L), plomo (0.018 mg/L), y cadmio (0.0070 mg/L) exceden significativamente el Límite Máximo Permisible (LMP) o el Estándar de Calidad Ambiental (ECA). El Zinc (0.131 mg/L) también incumple el estándar, aunque marginalmente. En contraste, el arsénico (0.0039 mg/L) y el cobre (0.01mg/L) cumplen con los estándares normativos, el pH promedio (6.06) incumple la norma, resultando agua ácida que representa un riesgo para la vida acuática y potencia la toxicidad de los metales. Por otro lado, la conductividad eléctrica (0.42 μ S/cm) y los nitratos (0.32 mg/L) cumplen satisfactoriamente con los límites. Respecto a la calidad microbiológica, el promedio de coliformes termotolerantes (780 NMP/100ml) cumple ampliamente con el estándar normativo (2,000 NMP/100ml). Se concluye que es urgente identificar y controlar las fuentes de vertimiento (probablemente de origen minero) e implementar medidas de remediación y neutralización del pH.

Palabras Clave: Contaminación, Metales, Pesados, Parámetros, Riesgo ambiental

ABSTRACT

This study aimed to determine the concentration levels of heavy metals and microbiological parameters in the surface waters of the Crucero River, Ananea district (2025). The Environmental Quality Standard (EQS) requires compliance with Category 4 parameters to ensure that the water body's quality and ecological function are not compromised, applying strict controls for wildlife and the environment. The descriptive, non-experimental study revealed that the average concentrations of heavy metals exceed the limits permitted by this subcategory, which regulates heavy metals and microbiological parameters such as thermotolerant coliforms. Mercury (0.0017 mg/L), lead (0.018 mg/L), and cadmium (0.0070 mg/L) significantly exceed the Maximum Permissible Limit (MPL) or the Environmental Quality Standard (EQS). Zinc (0.131 mg/L) also exceeds the standard, albeit marginally. In contrast, arsenic (0.0039 mg/L) and copper (0.01 mg/L) meet regulatory standards, while the average pH (6.06) exceeds the standard, resulting in acidic water that poses a risk to aquatic life and exacerbates the toxicity of the metals. On the other hand, electrical conductivity (0.42 μ S/cm) and nitrates (0.32 mg/L) are satisfactorily within the limits. Regarding microbiological quality, the average number of thermotolerant coliforms (780 MPN/100 ml) is well within the regulatory standard (2,000 MPN/100 ml). It is concluded that it is urgent to identify and control the sources of the discharge (likely of mining origin) and implement remediation and pH neutralization measures.

Keywords: Pollution, Metals, Heavy metals, Parameters, Environmental risk

INTRODUCCIÓN

Uno de los retos ambientales más serios en el mundo es la contaminación del agua, especialmente en las zonas donde se llevan a cabo actividades extractivas como la minería. En Perú, este problema adquiere una importancia particular en las regiones altoandinas, donde los ríos que son esenciales para la agricultura y las comunidades están constantemente amenazados *Ríos Muertos. Cicatrices de la minería en el sur del Perú*. (s. f.) 2025. El presente estudio se enfoca en el río Crucero, ubicado en el distrito de Ananea, una zona conocida por la intensa actividad minera. La preocupación por el estado de sus aguas radica en la potencial presencia y acumulación de sustancias nocivas. Por lo tanto, el objetivo general que guía esta investigación es: evaluar y determinar la calidad del agua del río Crucero mediante el análisis de dos grupos de contaminantes críticos: los metales pesados (como arsénico, mercurio y plomo), que representan un riesgo toxicológico a largo plazo, y los parámetros microbiológicos (como coliformes totales y fecales), indicadores de contaminación sanitaria y patógenos. Los resultados obtenidos permitieron contrastar los niveles hallados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua peruanos, a fin de establecer el grado de afectación del recurso hídrico y sus posibles riesgos para la población y el medio ambiente. Este trabajo es de gran importancia porque proporciona información técnica y científica crucial para las autoridades locales y regionales. La identificación precisa de los contaminantes y su concentración es el primer paso para proponer medidas de mitigación y remediación efectivas, asegurando la protección de la salud de los habitantes de Ananea y la sostenibilidad del ecosistema fluvial. Por tanto, la investigación realizada con este fin tiene la estructura secuencial siguiente:

Capítulo I. Planteamiento del Problema. Se especifica la formulación de la pregunta, los objetivos generales y específicos, y la breve justificación e importancia de la investigación.

Capítulo II. Marco teórico, conceptual e hipótesis de la investigación. Se presenta en detalle el marco teórico, así como los antecedentes, fundamento teórico, supuestos y variables para el desarrollo de la tesis.

Capítulo III. Metodología de la Investigación. Se dan detalles sobre la naturaleza del estudio, la muestra elegida y las actividades seguidas para recopilar datos específicos.

Capítulo IV. Exposición y análisis de los resultados. Refleja los resultados estadísticos y la comparación de supuestos. Así como discusiones, conclusiones, recomendaciones.

Por último, están las referencias y los archivos adjuntos

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación por metales pesados en fuentes de agua dulce representa un problema ambiental global de creciente preocupación. A nivel internacional, se observa que la actividad minera, las descargas industriales y la disposición inadecuada de residuos generan la liberación de metales pesados tóxicos en ríos y lagos, afectando la salud de los ecosistemas acuáticos y las comunidades que dependen de estas fuentes hídricas. Estudios en diversas regiones del mundo han documentado la bioacumulación de metales pesados en la cadena trófica, con consecuencias negativas para la biodiversidad y la seguridad alimentaria (Pabón *et al.*, 2020).

La falta de regulación y control efectivo en algunos países, sumada a la naturaleza transfronteriza de muchas cuencas hidrográficas, dificulta la gestión y mitigación de este tipo de contaminación, exigiendo una cooperación internacional para abordar el problema de manera integral y sostenible (Hurtado, 2022).

En el contexto peruano, la contaminación de ríos por metales pesados, principalmente asociada a la actividad minera formal e informal, constituye un desafío ambiental significativo (Osores *et al.*, 2015).

Numerosas cuencas hidrográficas a lo largo del país se ven afectadas por la descarga de efluentes mineros que contienen elevadas concentraciones de metales como plomo, mercurio, cadmio y arsénico. Esta situación genera impactos negativos en la calidad del

agua para consumo humano, la agricultura, la pesca y la salud de las poblaciones locales. A pesar de la existencia de normativas ambientales, la fiscalización y el cumplimiento efectivo siguen siendo problemáticos en muchas regiones, especialmente en zonas de minería artesanal y de pequeña escala. La falta de estudios exhaustivos y actualizados sobre la magnitud y distribución de la contaminación por metales pesados en diversas cuencas limita la implementación de estrategias de remediación y prevención eficaces a nivel nacional (Canales, 2021).

En el distrito de Ananea, ubicado en la región de Puno, la actividad minera, tanto formal como informal, representa una fuente potencial significativa de contaminación por metales pesados en los cuerpos de agua locales, incluyendo el río Crucero. Se presume que las prácticas extractivas, que a menudo involucran el uso de mercurio y la liberación de efluentes sin tratamiento adecuado, podrían estar contribuyendo a la presencia de metales pesados en el río. Esta situación genera preocupación por los posibles impactos en la calidad del agua utilizada por las comunidades locales para diversas actividades, así como por los efectos en la salud de los ecosistemas acuáticos y terrestres asociados al río Crucero. Sin embargo, se desconoce el nivel actual de concentración de metales pesados en este río, lo que impide evaluar la magnitud real del problema y la necesidad de implementar medidas de control y remediación. La falta de información precisa sobre la calidad del agua del río Crucero dificulta la toma de decisiones informadas por parte de las autoridades locales y la comunidad para proteger este recurso hídrico vital (Teran, 2022).

Formulación del Problema

1.1.1. PROBLEMA GENERAL

- ¿Cuáles son los niveles de concentración de metales pesados y parámetros microbiológicos presentes en las aguas del río Crucero, en el distrito de Ananea 2025?

1.1.2. PROBLEMA ESPECÍFICO

- ¿Cuáles son las concentraciones de metales pesados específicos en las aguas

superficiales del río Crucero en el distrito de Ananea?

- ¿Cuáles son los parámetros microbiológicos en las aguas superficiales del río Crucero en el distrito de Ananea?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

González (2018), el estudio examinó la presencia de mercurio en los sedimentos marinos del Estero Huayla, ubicado en Puerto Bolívar, Ecuador, en nueve puntos diferentes. Para medir las concentraciones de mercurio y plomo, se empleó la técnica de espectrofotometría de absorción atómica, evaluando el peligro ambiental mediante el factor de contaminación (fi) y el índice de riesgo ecológico potencial (IREP). Los hallazgos revelaron que los niveles de mercurio oscilaron entre 0,89 y 5,79 $\mu\text{g/g}$, superando los parámetros establecidos por las normas CEL y CEP. Por otro lado, las cantidades de plomo fueron menores (0,04 a 0,09 $\mu\text{g/g}$), sin sobrepasar los límites permitidos. El estudio concluyó que el mercurio implica un mayor peligro tóxico para los organismos que habitan los sedimentos. Se detectaron tres zonas altamente contaminadas, cinco con contaminación significativa y una con nivel moderado, principalmente en áreas próximas a empresas de fertilizantes y estaciones de combustible.

Fernandez (2018), el informe expone el grado de polución por metales pesados como mercurio, plomo, arsénico y cianuro en el nacimiento del río Binacional Puyango–Tumbes (frontera Perú-Ecuador). El propósito del estudio fue identificar la presencia de cianuro y metales tóxicos en dicho río. Se seleccionaron tres sitios de observación y se tomaron 24 muestras de agua entre mayo y diciembre de 2016. Los exámenes se realizaron mediante espectrofotometría de absorción atómica, conforme a los lineamientos del Protocolo Nacional de Control de la Calidad del Agua. Los resultados mostraron que las concentraciones de cianuro en los ríos Calera-Amarillo (0,898 mg/L) y Puyango-Tumbes (0,551 mg/L) exceden los estándares para aguas de las clases 3 y 4. En el río Pindo, el cianuro fue de 0,035 mg/L, cumpliendo únicamente con la categoría 3. Además, se detectaron niveles de arsénico y plomo por encima de los límites aceptables, mientras

que el mercurio se mantuvo por debajo de 0,0001 mg/L, respetando los parámetros permitidos. Se concluye que la contaminación se debe a desechos procedentes de la minería.

1.2.2. ANTECEDENTES NACIONAL

Lozada et al. (2021), el estudio describe que el reactor fue diseñado con dos compartimientos de flujo constante, enlazados mediante un conducto de tuberías. Cada celda medía 17 x 20 x 30 cm, mientras que los electrodos tenían dimensiones de 23 x 11 cm, más un área adicional de 1 cm². Se utilizó una fuente de energía de 50 Vdc y una densidad de corriente de 0,8 A. El líquido salía a un ángulo de 45°, con un flujo de 0,008 L/s, y los tiempos de permanencia fueron de 18,36 minutos en la primera cámara y 34,68 minutos en la segunda. La cantidad inicial de plomo en el agua sin tratar era de 0,081 mg/L. Tras el tratamiento, se redujo a 0,038 mg/L en la primera celda y a 0,011 mg/L en la segunda. Los resultados demostraron una eliminación del 53% y 86% de plomo en cada compartimiento, respectivamente. Se concluye que el reactor de flujo constante logró reducir eficazmente la presencia de plomo en el agua del río Coata, en Puno, Perú, bajo condiciones experimentales.

Pabón et al. (2020), el documento indica que la presencia de metales pesados en el agua, especialmente el plomo, afecta gravemente al ecosistema, siendo este metal uno de los principales contaminantes en los ríos del Perú. De acuerdo con la ONU, alrededor de 1,6 millones de peruanos corren riesgo de sufrir enfermedades por exposición al plomo, lo que resalta la importancia de contar con instrumentos que permitan monitorear los niveles de este metal en los cuerpos de agua. El estudio expone los sistemas de medición de plomo basados en voltimetría que se han desarrollado e implementado recientemente. El primer capítulo aborda la problemática de la contaminación por plomo y presenta una introducción a los diferentes sensores electroquímicos disponibles para medir su concentración. El segundo capítulo revisa el avance tecnológico de dispositivos portátiles que utilizan voltimetría para detectar plomo. Finalmente, el tercer capítulo

desarrolla el marco teórico necesario para diseñar o fabricar un equipo portátil capaz de medir la concentración de plomo en el agua.

Vasquez (2022), señala que el propósito fue identificar la cantidad de metales pesados (arsénico, cadmio, cromo, mercurio y plomo) en la microcuenca urbana del río Ichu. Se empleó una investigación de tipo fundamental, con enfoque descriptivo y diseño no experimental de corte transversal. Se eligieron cinco lugares para recolectar muestras del río Ichu, y los análisis de laboratorio determinaron las concentraciones de los metales. Los resultados mostraron que el arsénico varió entre 0.0051 y 0.0066 mg/L, el cadmio fue menor a 0.0004 mg/L, el cromo inferior a 0.02 mg/L, el mercurio por debajo de 0.001 mg/L y el plomo entre 0.0004 y 0.0048 mg/L. Se concluyó que los niveles de cadmio, cromo y mercurio sobrepasaron los límites permitidos por el ECA-Agua, mientras que el arsénico y plomo estuvieron dentro de los rangos aceptados. Además, otro análisis en el río Chillón evidenció que el hierro y el plomo no presentaron relación con los parámetros fisicoquímicos, lo que indica un control adecuado del plomo, aunque se advierte de riesgos por desechos industriales en otras temporadas.

Indigoyen (2023), expone que se analizó la fluctuación de plomo en suelos agrícolas ubicados en la margen izquierda de la zona media del río Mantaro, empleando enmiendas orgánicas para evaluar la capacidad de descontaminación a través del cultivo de maíz (*Zea mays*). Se recolectaron muestras de tierra a 30 cm de profundidad en parcelas irrigadas con agua del río Mantaro, en las localidades de Ataura, El Mantaro, Matahuasi y Concepción. A estos suelos se les incorporó biochar proveniente de restos de eucalipto y compost en dosis de 0, 25, 50 y 75 g/kg, siguiendo un diseño experimental factorial 4 x 4 con tres repeticiones. Los análisis se efectuaron en el laboratorio especializado de la Universidad Nacional Agraria la Molina. Inicialmente, la concentración media de plomo era de 2 014.57 ppm, y tras el experimento, el tratamiento más efectivo (T7) logró disminuirla a 1 308.89 ppm, lo que representa una reducción del 35.03%. Se concluye que el maíz es un buen bioindicador para procesos de fitorremediación y, dado

que es un alimento básico para la población, es urgente descontaminar los suelos agrícolas del Valle del Mantaro para prevenir riesgos y daños a la salud pública.

1.2.3. ANTECEDENTES LOCAL

Marón (2022), indica que la investigación se llevó a cabo para reducir la contaminación del agua en el río Crucero, sector Progreso, causada por descargas mineras de metales pesados. El objetivo principal fue establecer el nivel de retención de arsénico y plomo en el agua utilizando cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) como material bioadsorbente, un residuo orgánico sin valor comercial del cual se obtuvo carbón activado. Se empleó un enfoque cuantitativo y experimental, realizando la bioadsorción en reactores tipo Batch, donde se variaron parámetros como la cantidad de bioadsorbente (2 y 4 gramos), el tamaño de las partículas (malla #20 de 0,850 mm y malla #16 de 1,180 mm), y el tiempo de contacto (60 y 120 minutos). Posteriormente, las muestras tratadas fueron analizadas mediante ICP OES para identificar los factores que más influyen en el proceso. Los resultados demostraron que el carbón derivado de la cáscara de plátano logró una remoción del 67,24% de arsénico bajo condiciones óptimas (4 g de bioadsorbente, tamaño de partícula de 0,850 mm y 60 minutos de contacto) y un 99,02% de plomo (4 g de bioadsorbente, 0,850 mm y 120 minutos). Estos resultados cumplen con los estándares de calidad del agua y posicionan a estos residuos orgánicos como una alternativa eficaz y prometedora para eliminar metales pesados del agua.

Vasquez (2022), expone que la investigación se enfocó en examinar la presencia de metales pesados (arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc) en el agua superficial de la Subcuenca Crucero, analizando su comportamiento bajo distintas condiciones climáticas y a lo largo de los años 2011 a 2015. Se emplearon datos oficiales y registros propios, utilizando diversos métodos estadísticos como análisis de varianza y correlación. Los hallazgos revelaron que, en repetidas ocasiones, las concentraciones de metales excedieron los límites establecidos, sin diferencias notables entre años ni estaciones. Se detectaron niveles elevados de cadmio, mercurio y zinc en la parte alta de la cuenca, mientras que los demás metales presentaron valores similares en las distintas

áreas. Se observó una relación directa entre la conductividad eléctrica y varios metales, además de que la presencia de estos elementos disminuye el oxígeno disuelto y el pH del agua, especialmente en época de sequía. Finalmente, se sugieren métodos como la precipitación química para tratar las aguas contaminadas en la cabecera y técnicas combinadas con bioadsorción en la parte baja de la cuenca.

Incahuanaco (2018), indica que la finalidad de este estudio fue localizar los lugares más afectados por contaminación de metales peligrosos en los sedimentos superficiales de la subcuenca del río Crucero. Se eligieron trece sitios de muestreo mediante un método no probabilístico por conveniencia, realizado en octubre, bajo un enfoque descriptivo y transversal. Se utilizó espectrometría de absorción atómica para analizar cadmio, plomo, mercurio y arsénico. Los resultados se compararon con los estándares ambientales de la Sediment Quality Guidelines (SQG), que establecen dos umbrales: ISQG (Guía Provisional de Calidad de Sedimentos) y PEL (Nivel Probable de Efecto). Se encontró que en las estaciones E6 (plomo) y E3 (mercurio) las concentraciones no causan efectos biológicos negativos, mientras que en E4 y E6 (cadmio) se observaron niveles que pueden provocar impactos biológicos esporádicos. Además, nueve estaciones presentaron arsénico en cantidades que generan efectos biológicos adversos frecuentes. En conclusión, se identificaron cuatro puntos críticos (E1, E3, E4 y E6) con presencia de metales tóxicos en los sedimentos, asociados a efectos biológicos ocasionales.

1.3. OBJETIVO

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar los niveles de concentración de metales pesados y parámetros microbiológicos presentes en las aguas del río Crucero, en el distrito de Ananea

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar las concentraciones de metales pesados específicos en las aguas superficiales del río Crucero en el distrito de Ananea.
- Evaluar los parámetros microbiológicos en las aguas superficiales del río Crucero en el distrito de Ananea.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. MEDIO FÍSICO O MEDIO NATURAL

El entorno es un conjunto formado por los componentes y dinámicas del ambiente natural y su interacción con las actividades humanas. Este sistema integral se divide en cuatro subsistemas principales:

- Medio abiótico: Incluye los elementos físicos como el aire, el suelo y el agua.
- Medio biológico: Comprende la vegetación y los animales presentes en el área.
- Medio perceptual: Se refiere a las unidades de paisaje, como valles, cuencas, cadenas montañosas y panoramas escénicos, que conforman el trasfondo visual del entorno.
- Medio socioeconómico: Está formado por las infraestructuras, las condiciones sociales, los aspectos históricos, culturales y patrimoniales, así como las características económicas de la población que habita una región determinada. (Santos, 2018).

Degradación ambiental

La degradación ambiental es el daño progresivo al entorno natural causado por la sobreexplotación de recursos como el aire, el agua y el suelo, así como por la destrucción de hábitats y la desaparición de especies. Se entiende como cualquier modificación o transformación del ambiente que resulte negativa o no deseada. También puede describirse como el conjunto de procesos que deterioran o dificultan el aprovechamiento de ciertos recursos por parte de la sociedad. (Pérez, 2020).

2.1.2. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN MINERÍA

En los últimos treinta años, la contaminación ambiental a nivel mundial ha provocado conflictos y transformaciones en los ámbitos social, cultural, económico y político, evidenciando cómo el cambio en los valores sociales ha dado lugar a enfoques post-materialistas y a disputas por la distribución desigual de los recursos y los impactos ecológicos. A medida que crecen la economía y la población, se incrementa el uso de recursos naturales y la generación de residuos, lo que genera que ciertos grupos soporten mayores costos ambientales, reflejando relaciones de poder entre países, clases, géneros y entre el Estado y la sociedad civil. Los efectos negativos de la actividad minera son notorios en los ecosistemas acuáticos, el suelo, la vegetación y la salud humana, ya que la contaminación del agua por desechos tóxicos provenientes de la minería representa un riesgo creciente para la vida y el desarrollo económico, lo que hace imprescindible la implementación de programas de restauración del suelo mediante métodos fisicoquímicos y biológicos, los cuales son técnica y económicamente viables. (Quispe *et al*, 2022).

2.1.3. IMPACTO AMBIENTAL EN MINERÍA

La minería puede contaminar el entorno directamente a través del aire y el agua, generando residuos como relaves, desmontes y escorias que constituyen pasivos ambientales; sin embargo, en el Perú, la valoración económica de estos impactos negativos en los estudios de impacto ambiental (EIA) es limitada, a pesar de que la Ley N° 27446 del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) exige, para proyectos de alto riesgo ambiental, la elaboración de un EIA detallado y la estimación monetaria de los daños ambientales significativos que puedan ocasionar grandes inversiones con potencial de causar efectos adversos en el ambiente. (Coayla *et al*, 2024).

Diversos estudios coinciden en que la minería informal, cuando se gestiona de manera inadecuada, genera múltiples efectos perjudiciales sobre la salud ambiental, afectando tanto a los trabajadores como a sus familias que residen en zonas donde se desarrolla

esta actividad. Aunque las investigaciones presentan ciertas limitaciones, el panorama resulta alentador, ya que ha habido un incremento progresivo en los trabajos científicos enfocados en analizar las consecuencias de la contaminación ambiental derivada de la minería informal a nivel global. (Mendocilla, 2019)

2.1.4. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

La actividad minera afecta negativamente al entorno natural, incluyendo la vegetación, la fauna y aspectos sociales y económicos, por lo que el Ministerio del Ambiente evalúa estos impactos usando criterios como alcance y tipo de afectación para decidir si un proyecto minero puede continuar. Este proceso de evaluación ambiental puede extenderse durante meses o años, y el artículo propone lineamientos que faciliten la toma de decisiones en el sector minero (Ferrer, 2016).

2.1.5. AGUA

El agua constituye el elemento predominante tanto en la mayoría de los alimentos como en el cuerpo humano, siendo el medio donde se llevan a cabo las reacciones metabólicas celulares y donde se organizan las demás moléculas presentes en los alimentos. Además, es el solvente universal que posibilita las reacciones biológicas indispensables para la existencia. El agua también afecta la apariencia y textura de frutas y verduras, ya que representan entre el 80% y 95% de su composición, otorgándoles su fragilidad y turgencia, característica que depende de la vacuola, un orgánulo celular encargado de almacenar soluciones acuosas en las células vegetales. (Camargo et al, 2019).

2.1.6. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUAS

El agua es una molécula compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H_2O), con estructura angular y carácter polar, lo que le permite formar enlaces de hidrógeno entre sus moléculas. Esta polaridad y capacidad de formar puentes de hidrógeno explican muchas de sus propiedades únicas, como su elevada cohesión, su función como excelente disolvente y su casi incomprensibilidad. Además, la densidad del agua líquida es cercana a 1 g/cm^3 y varía con la temperatura y la presencia de otras sustancias disueltas, mientras que la tensión superficial disminuye a medida que aumenta

la temperatura. Estas características hacen del agua un elemento esencial para la vida y los procesos biológicos en la Tierra (Galvín, 2000).

2.1.7. MINERÍA EN EL PERÚ

Las ciencias sociales en el Perú han considerado a la minería como un tema central de análisis desde sus inicios, siendo en los años setenta cuando historiadores y sociólogos comenzaron a investigar su impacto en la estructura social y económica, a lo que luego se sumaron disciplinas como la antropología y la economía. Sin embargo, fue recién a partir del año 2000 que los estudios sobre minería en el país crecieron notablemente, integrando enfoques multidisciplinarios y alcanzando reconocimiento internacional. Actualmente, el Perú es uno de los mayores productores globales de metales como cobre, plomo, zinc, estaño, plata y oro, y si bien la actividad minera se concentraba antes en el centro y sur, en las últimas décadas las regiones del norte, por su gran riqueza mineral, se han convertido también en polos de interés para la minería internacional. (Manrique, 2021).

2.1.7.1. Minería Legal

La Ley General de Minería junto con la Constitución de 1993 constituyeron la base legal que otorgó seguridad y estabilidad jurídica y fiscal a las compañías mineras. Además, se regularon diversos procedimientos vinculados a la actividad extractiva, especialmente en lo referente al sistema de concesiones. Estas normativas reemplazaron la anterior Ley General de Minería de 1981 y fueron integradas en 1992 mediante el Decreto Supremo N° 014-92-EM. (Ritimo, 2016) .

2.1.7.2. Minería Ilegal

En los últimos años, el auge de la minería ilegal, impulsado por el aumento excepcional de los precios de los metales, ha llevado a una mayor presencia e influencia de quienes practican esta actividad tanto a nivel local como nacional. La alta rentabilidad de la extracción de oro generó acumulación de riqueza sin precedentes en la pequeña minería, la minería artesanal y la ilegal, lo que motivó la incorporación de maquinaria pesada y un incremento considerable en la producción de oro. Este crecimiento acelerado trajo

consigo una intensificación de los impactos negativos sobre el ambiente y la sociedad.

(De Echave, 2016)

2.1.8. METALES PESADOS

los metales pesados como plomo, cadmio, cromo, zinc y mercurio, entre otros, son liberados al agua y al suelo principalmente por acciones humanas, representando una amenaza grave para plantas, animales y personas debido a su persistencia, capacidad de acumularse en los organismos, su naturaleza no degradable y su toxicidad incluso en bajas dosis. La presencia de estos metales en los ecosistemas es motivo de preocupación, ya que alteran el equilibrio necesario para la vida, y su llegada a distintos ambientes depende del tipo de actividad humana que se realice. (Pabón *et al*, 2020).

- **Plomo:** La exposición al plomo puede dañar los sistemas nervioso, inmunológico, reproductivo y cardiovascular, y su absorción depende de la edad, el estado nutricional y la vía de ingreso, siendo mayor en niños, personas con deficiencia de hierro o calcio y dietas ricas en grasas; tras entrar al organismo, el plomo permanece en la sangre por unas semanas antes de distribuirse a órganos como el hígado, riñones, médula ósea y cerebro. (Azcona, 2025).
- **Mercurio :** El mercurio elemental se absorbe poco por la piel o el sistema digestivo, pero su forma volátil facilita la exposición por inhalación, permitiendo que sus vapores ingresen rápidamente al organismo a través de los pulmones y se acumulen en los tejidos; por esta razón, la OMS lo considera una de las sustancias químicas más peligrosas para la salud pública y su contaminación ha sido ampliamente estudiada en los últimos años (Branfireun, 2022).
- **Cadmio :** La exposición al cadmio, principalmente por alimentos contaminados, humo de cigarrillo y agua afectada por actividades industriales, puede causar síntomas agudos como náuseas, vómitos, dolor abdominal y diarrea a altas concentraciones, y a largo plazo daña principalmente los riñones y el hígado. (Octavio, 2022).

- **Arsénico:** El arsénico es un metaloide inorgánico que se encuentra disponible en el ambiente y puede causar toxicidad aguda si se consume en grandes cantidades, superando los 70 mg, provocando síntomas como problemas gastrointestinales, alteraciones en el sistema cardiovascular y nervioso, e incluso la muerte. La intoxicación aguda suele comenzar con sabor metálico, ardor y dificultad para tragar, acompañados de dolor abdominal, diarrea, náuseas y vómitos con sangre. La exposición prolongada al arsénico, especialmente a través del agua, está relacionada con un mayor riesgo de desarrollar cáncer de piel, pulmón, vejiga y riñón, debido a su transformación en el organismo mediante procesos químicos. Clínicamente, puede manifestarse con oscurecimiento de la piel, manchas en el cuerpo y endurecimiento cutáneo en manos y pies. En casos más graves, puede afectar órganos internos como el hígado, los riñones y el bazo, y asociarse a conjuntivitis, bronquitis, diabetes y la aparición de tumores en distintos órganos. (Padilla, 2021).
- **Cobre** :El cobre es un metal presente de manera natural en rocas, suelos, agua y aire, y constituye un nutriente esencial tanto para seres humanos como para animales y plantas. Este elemento se encuentra en diversos alimentos y es necesario para el correcto funcionamiento del organismo. Sin embargo, tanto la deficiencia como el exceso de cobre pueden provocar problemas de salud. Consumir una cantidad excesiva, especialmente a través del agua potable o suplementos, puede causar síntomas como vómitos, náuseas, dolor abdominal y diarrea. Si la exposición elevada se mantiene durante un tiempo prolongado, existe riesgo de daños graves en órganos como los riñones y el hígado. Por ello, es importante mantener un equilibrio adecuado en la ingesta de cobre para evitar enfermedades asociadas tanto a su déficit como a su exceso. Sección de Toxicología, *s. f., p.* 2022).
- **Zinc:** El pH mide la acidez o alcalinidad del agua, mientras que el zinc es un mineral esencial para el organismo, presente en alimentos como carnes y mariscos; su deficiencia causa problemas de salud. La minería, tanto formal como informal, genera contaminación ambiental y residuos peligrosos, afectando ecosistemas, recursos

hídricos y la salud de las personas, pero en el Perú la valoración económica de estos daños es limitada a pesar de la normativa vigente. La evaluación ambiental de proyectos mineros es un proceso extenso que considera múltiples criterios para decidir su viabilidad, y la creciente investigación sobre los impactos de la minería informal es clave para mejorar la gestión ambiental y proteger tanto a la sociedad como al entorno natural. (Bautista, 2021).

- **El pH:** El pH indica el nivel de acidez o basicidad del agua en una escala de 0 a 14, donde 7 es neutro; valores menores a 7 reflejan acidez y mayores a 7, alcalinidad. Este parámetro mide la proporción de iones hidrógeno e hidroxilo presentes: más iones de hidrógeno significa mayor acidez, mientras que más iones de hidroxilo implica mayor alcalinidad. El pH, influido por las sustancias químicas disueltas, es clave para detectar cambios químicos en el agua y se expresa en una escala logarítmica, lo que significa que cada unidad representa una variación diez veces mayor en acidez o alcalinidad; por ejemplo, agua con pH 5 es diez veces más ácida que agua con pH 6 (USGS, 2019).

2.2. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación se enmarca dentro de un enfoque descriptivo univariable. Esta decisión se alinea con la literatura metodológica, que establece que las hipótesis son más pertinentes en estudios explicativos o correlacionales, donde se busca probar relaciones entre variables (Hernández et al., 2014).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

Ananea está ubicado en los Andes Centrales a 4160 msnm, en el flanco oriental al sur de Perú, en la provincia de San Antonio de Putina región Puno.



Figura 01: Georreferencia del lugar de investigación río Crucero

Fuente: Google Earth, 2016.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población está representada por las aguas del río Crucero que tiene una longitud de 4 km lineales y la muestra fue de tipo no probabilística y por conveniencia.



Figura 02: Ubicación de los puntos de muestreo del río Cruceiro.

Fuente: Google Earth

Tabla 01: Coordenadas de puntos de muestreo

PUNTOS DE MUESTREOS		
<p>Punto M1: El punto de muestreo se encuentra ubicado en la desembocadura de la presa Pampa blanca a 2 Km. De la ciudad de Ananea a una altura de 4 770 msnm. Teniendo las siguientes coordenadas geográficas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Latitud sur: 14°41'8.51" 	<p>Punto M2: Se sitúa a una altura de 4 607 msnm. Teniendo las coordenadas geográficas siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Latitud sur: 14°39'45.21" ○ Longitud oeste: 69°34'31.81" <p>Punto de muestreo ubicado entre el centro poblado Oriental y Wacchani, se desarrolla una activa labor minera artesanal e</p>	<p>Punto M3: Punto de muestreo ubicado a la altura del Cruce desvío Sandía. Río Cruceiro a una altura de 4 379 msnm. Teniendo las coordenadas geográficas siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Latitud sur: 14°31'6.49" ○ Longitud oeste: 69°40'22.06"0

PUNTOS DE MUESTREOS

- Longitud oeste: 69°29'45.74 informal, provocando un fuerte movimiento de material proveniente de las empresas mineras formales e informales.
-

3.3. MÉTODOS Y VARIABLES

- **Diseño de investigación:** No experimental
- **Tipo de investigación:** Descriptivo- transversal
- **Método:** Deductivo-analítico
- **Materiales a utilizar**

La indumentaria de protección personal para realizar el muestreo estuvo constituida por bata blanca, pantalón, casco, casaca (zona sierra), impermeable, botines de seguridad, botas de jebe muslera, guantes de jebe y quirúrgico.

3.4. DISEÑO DE METODOLOGÍA POR OBJETIVO

Objetivo específico 01: Evaluar las concentraciones de metales pesados específicos en las aguas superficiales del río Crucero en el distrito de Ananea.

Para el presente estudio se tomó en cuenta el PROTOCOLO DE MONITOREO DE LA CALIDAD SANITARIA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES:

Protección del personal: constituido por bata blanca, casco, botas de jebe, guantes quirúrgicos.

Toma de muestras: Los frascos requeridos fueron de polietileno (preferencia primer uso) o vidrio, los cuales deben estar limpios y secos para evitar contaminación.

Parámetros Físicos Químicos.

- En el caso de la toma de muestra para determinar **Metales Pesados**, se utilizará frascos de plástico de boca ancha con cierre hermético, limpios de un litro de capacidad. Abrir el envase y sumergirlo a unos 20 cm por debajo de la superficie y luego preservar.

Identificación de las muestras de agua:

Los recipientes deben ser identificados antes de la toma de muestra con una etiqueta, escrita con letra clara y legible la cual debe ser protegida con cinta adhesiva transparente conteniendo la siguiente información:

- Número de muestra (referido al orden de toma de muestra).
- Código de identificación (punto y/o estación de muestreo).
- Origen de la fuente.
- Descripción del punto de muestreo.
- Fecha y hora de la toma de la muestra.
- Tipo de análisis requerido.
- Nombre del responsable del muestreo.

Objetivo específico 02: Evaluar los parámetros microbiológicos en las aguas superficiales del río Crucero en el distrito de Ananea.

La toma de muestra microbiológica se realizó a una profundidad de 20 a 30 cm. Los frascos para las muestras deben ser de vidrio y esterilizados, la toma de muestra es directa dejando un espacio para aireación y mezcla de 1/3 del frasco de muestreo. En el caso de las muestras para análisis microbiológico se entregó al laboratorio dentro de las 6 horas después del muestreo y conservadas en cajas térmicas (Coolers).

3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 02: Matriz de operación de variables

Variables	Dimensión	Indicador	Escala de medición
Metales pesados del río crucero	Tipos de metales pesados	Mercurio (Hg) Plomo (Pb) Cadmio (Cd) Arsénico (As) Cobre (Cu) Zinc (Zn)	mg/L
Parámetros microbiológicos del río Crucero	Parámetros microbiológicos	Coliformes termotolerantes	

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1. EVALUAR LAS CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS ESPECÍFICOS EN LAS AGUAS SUPERFICIALES DEL RÍO CRUCERO EN EL DISTRITO DE ANANEA

Tabla 03: Arsénico

PARÁMETRO	M1	M2	M3	PROMEDIO	DS 004- 2017- MINAM
Arsénico	0.0041	0.0038	0.0039	0.0039	0.15

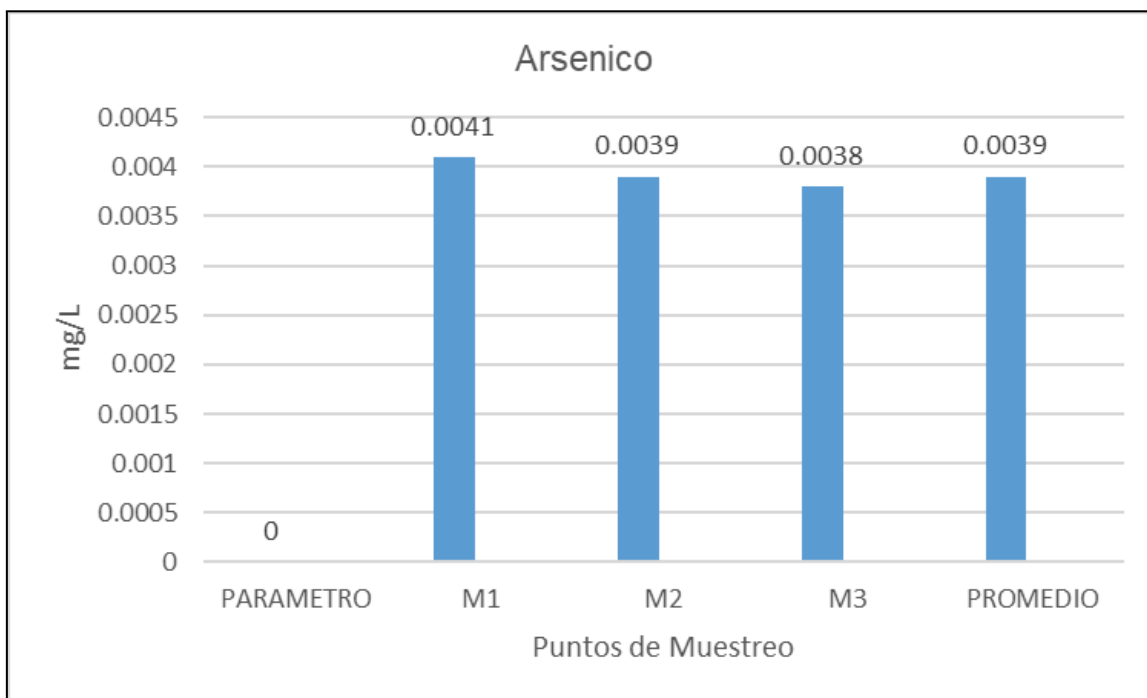


Figura 03: Arsénico

Los resultados obtenidos para el parámetro Arsénico (Tabla 03, Figura 03) son altamente favorables en relación con los valores establecidos en la norma de referencia. La

concentración promedio registrada, equivalente a 0.0039 mg/L, se encuentra muy por debajo del límite máximo permisible (LMP) establecido por el DS N.° 004-2017-MINAM, que es de 0.15 mg/L para este elemento.

Tabla 04: Cadmio disuelto

PARÁMETRO	M1	M2	M3	PROMEDIO	DS 004- 2017- MINAM
Cadmio disuelto	0.0021	0.0020	0.017	0.0070	0.00025

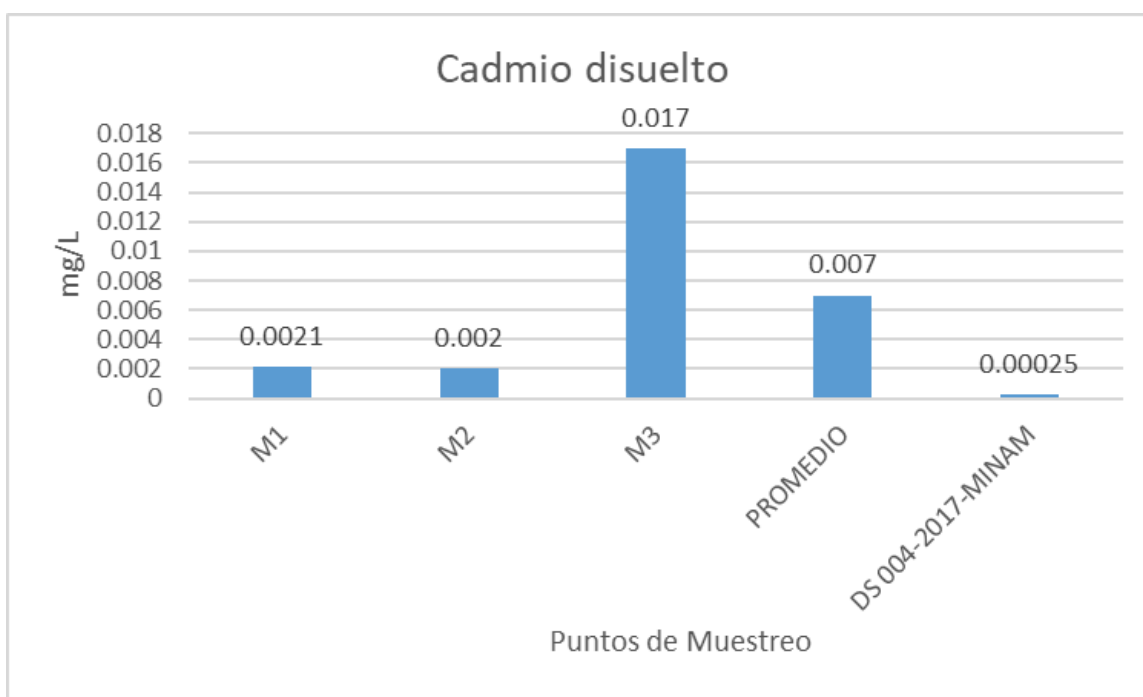


Figura 04: Cadmio disuelto

El valor promedio medido para Cadmio disuelto (Figura 04) es de 0.0070 mg/L. Aunque las concentraciones obtenidas en las muestras M1 y M2 se encuentran en niveles relativamente bajos, la muestra M3 presenta un valor considerablemente elevado, lo que incrementa de manera significativa el promedio general. Al comparar estos resultados con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para Agua establecido en el DS N.° 004-2017-MINAM, se observa que la concentración promedio de Cadmio disuelto supera el límite máximo permitido, por lo que **NO CUMPLE** con la normativa vigente

Tabla 05: Cobre

PARÁMETRO	M1	M2	M3	PROMEDIO	DS 004- 2017- MINAM
Cobre	0.011	0.010	0.0098	0.010	0.1

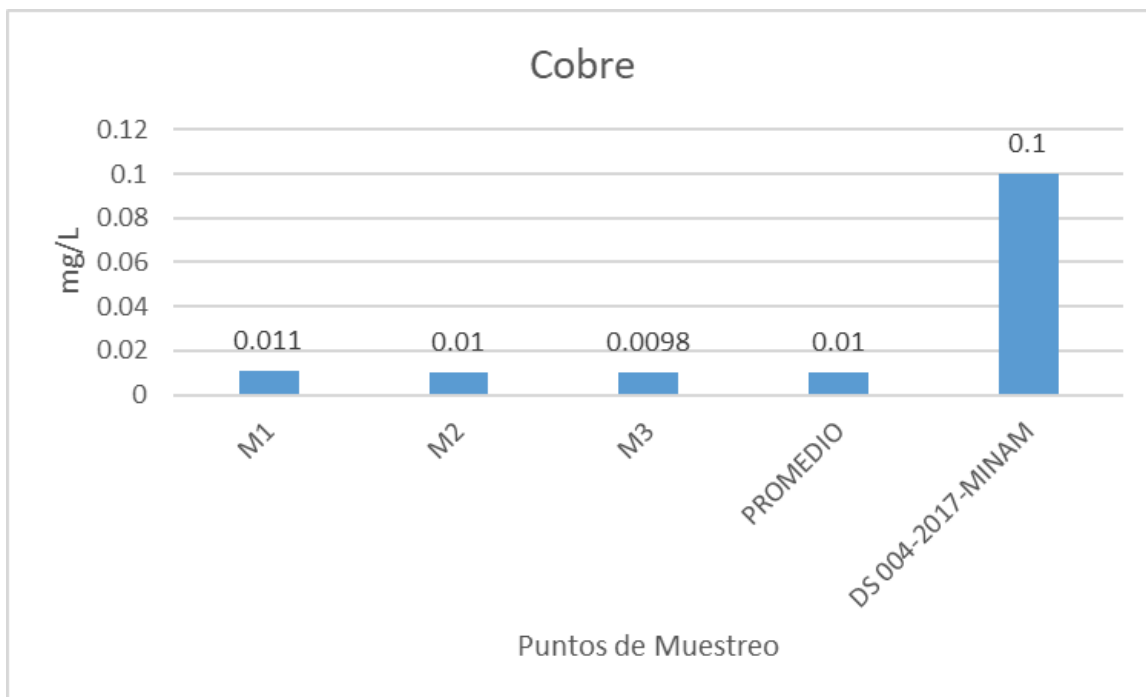


Figura 05: Cobre

La concentración promedio de Cobre registrada (Figura 05) es de 0.01 mg/L. Este valor se encuentra muy por debajo del límite máximo establecido en el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, según la normativa vigente DS N.° 004-2017-MINAM. En consecuencia, el nivel de Cobre presente en la muestra o fuente de agua analizada **SÍ CUMPLE** con los estándares establecidos.

Tabla 06: Mercurio

PARÁMETRO	M1	M2	M3	PROMEDIO	DS 004- 2017- MINAM
Mercurio	0.0003	0.003	0.002	0.0017	0.0001

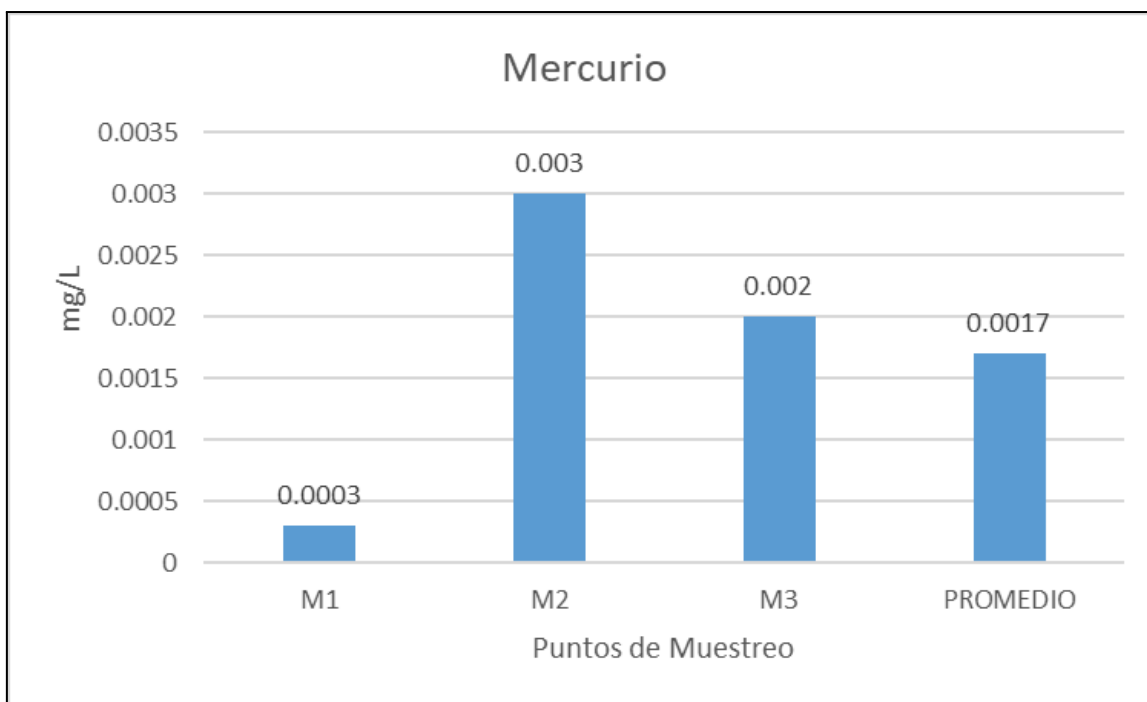


Figura 06: Mercurio

El resultado promedio obtenido para el parámetro Mercurio (Figura 06) es de 0.0017 mg/L, valor que excede de manera significativa el Límite Máximo Permisible (0.0001 mg/L) establecido por la normativa DS N.º 004-2017-MINAM. En consecuencia, la concentración de mercurio registrada en el punto de muestreo NO CUMPLE con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua.

Tabla 07: Plomo

PARÁMETRO	M1	M2	M3	PROMEDIO	DS 004-2017-MINAM
Plomo	0.019	0.018	0.017	0.018	0.0025

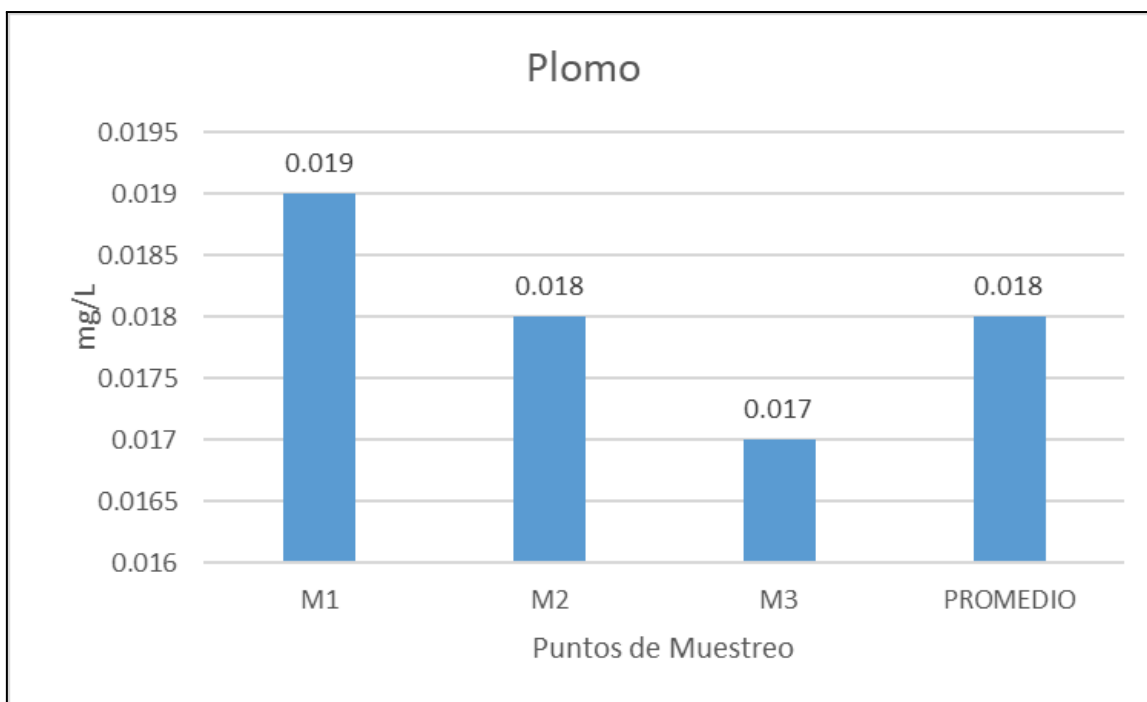


Figura 07: Plomo

El resultado promedio de Plomo (Figura 07), (0.018) excede el Límite Máximo Permissible (o ECA: 0.0025 mg/L) de la norma DS 004-2017-MINAM. Esto significa que la concentración de Plomo en el lugar de muestreo no cumple con la norma. El Plomo es un metal pesado altamente tóxico y un contaminante persistente, por lo que una superación de este límite indica una contaminación significativa que representa un riesgo para la salud pública y el ecosistema.

Tabla N° 08: Zinc

PARÁMETRO	M1	M2	M3	PROMEDIO	DS 004-2017-MINAM
Zinc	0.135	0.140	0.120	0.131	0.12

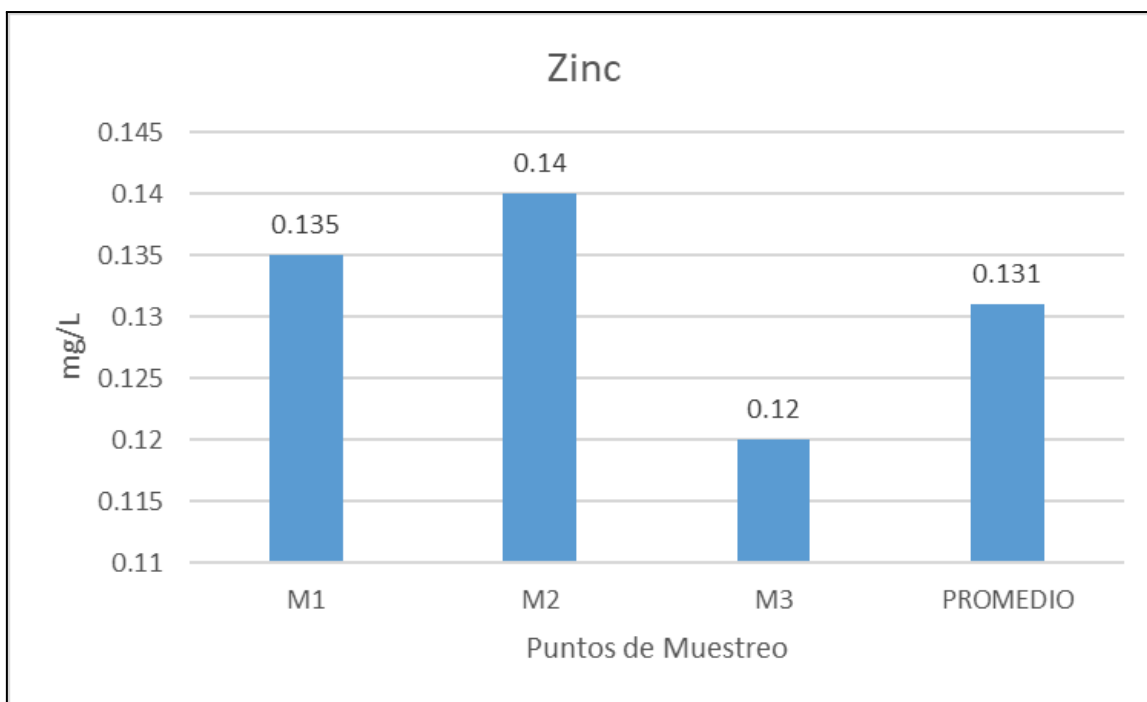


Figura 08: Zinc

El resultado promedio de Zinc (Figura 08), equivalente a 0.131 mg/L, excede ligeramente el Límite Máximo Permisible (ECA: 0.12 mg/L) establecido en la norma DS 004-2017-MINAM. Aunque la superación es marginal, sigue representando un incumplimiento normativo, por lo que el agua evaluada no cumple con el estándar de calidad para este parámetro. El zinc es un metal esencial para muchos organismos y, en comparación con otros metales pesados como el plomo o el mercurio, presenta una toxicidad relativamente menor. Sin embargo, cuando sus concentraciones superan los valores límites establecidos, puede generar efectos adversos en la vida acuática, tales como estrés fisiológico, alteraciones en el crecimiento, daños en branquias o afectación en procesos metabólicos.

4.2. EVALUAR LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS EN LAS AGUAS SUPERFICIALES DEL RÍO CRUCERO EN EL DISTRITO DE ANANEA

Tabla 09: PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS: CE

PARÁMETRO	M1	M2	M3	PROMEDIO	DS 004-2017-MINAM
CE	0.44	0.43	0.41	0.42	1 000

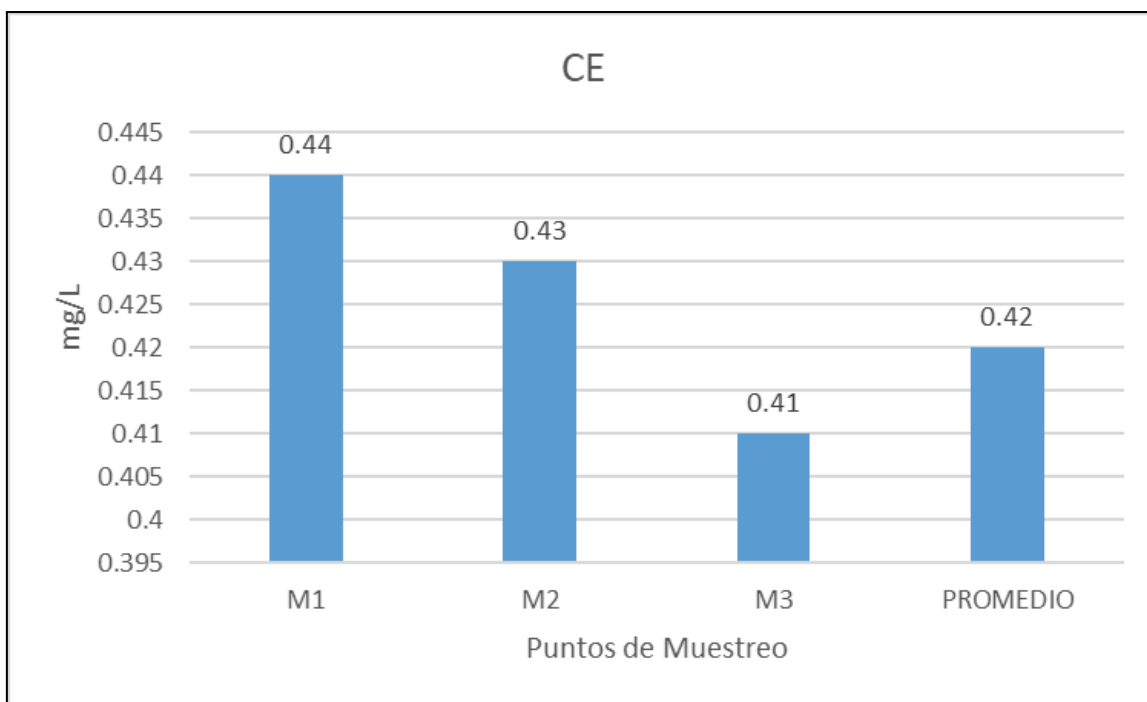


Figura 09: CE

El resultado promedio (Figura 09) de Conductividad Eléctrica (CE) (0.42) es significativamente inferior al Límite Máximo Permisible (ECA: 1,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) de la norma DS 004-2017-MINAM, significa que, en cuanto a la concentración de sales y sólidos disueltos totales, el cuerpo de agua cumple ampliamente con el estándar normativo. La baja conductividad indica una baja concentración de iones y sales, lo cual suele ser una señal positiva en términos de calidad de agua, especialmente para usos como riego o ecosistemas acuáticos.

Tabla 10: Nitratos

PARÁMETRO	M1	M2	M3	PROMEDIO	DS 004-2017-MINAM
Nitratos	0.80	0.06	0.10	0.32	13

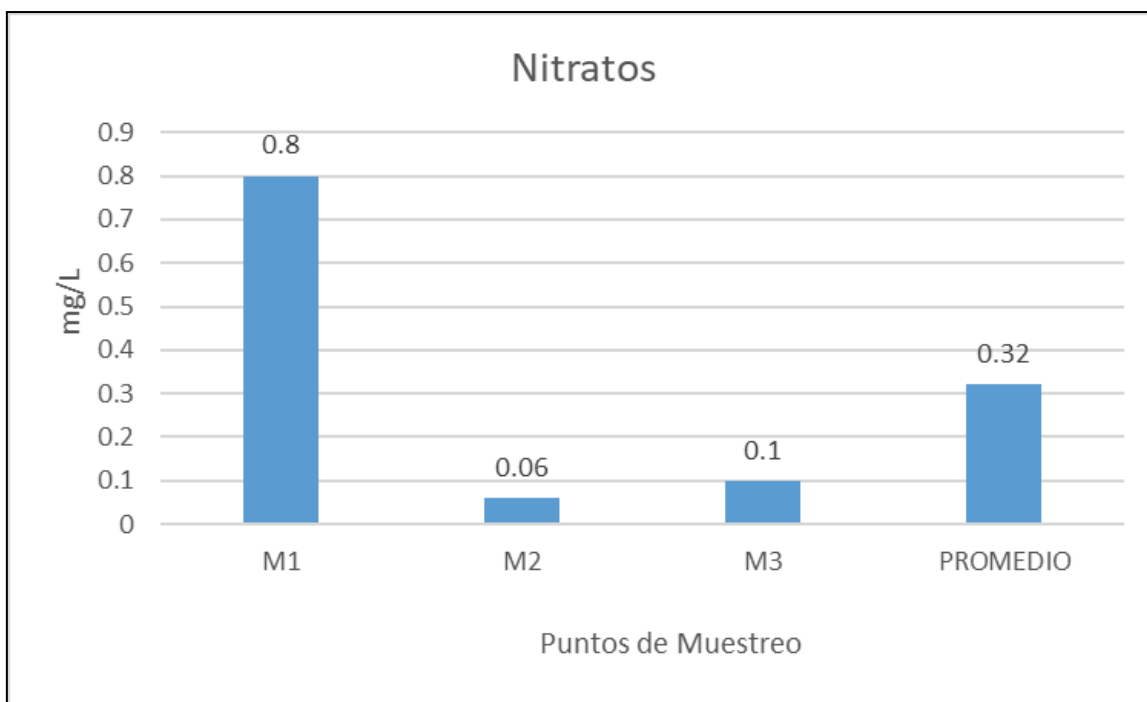


Figura 10: Nitrato

El resultado promedio de Nitratos (Figura 10), equivalente a 0.32 mg/L, cumple ampliamente con el Límite Máximo Permisible (ECA: 13 mg/L) establecido por la norma DS 004-2017-MINAM. Este valor se encuentra muy por debajo del umbral permitido, por lo que no existe riesgo de incumplimiento normativo para este parámetro. En general, la presencia de nitratos en niveles bajos indica que no hay aportes significativos de contaminación por actividades agrícolas, aguas residuales o procesos de oxidación de materia orgánica, que son las fuentes más comunes de este compuesto.

Tabla 11: pH

PARÁMETRO	M1	M2	M3	PROMEDIO	DS 004-2017-MINAM
pH	5.90	6.12	6.18	6.06	6.5-9.0

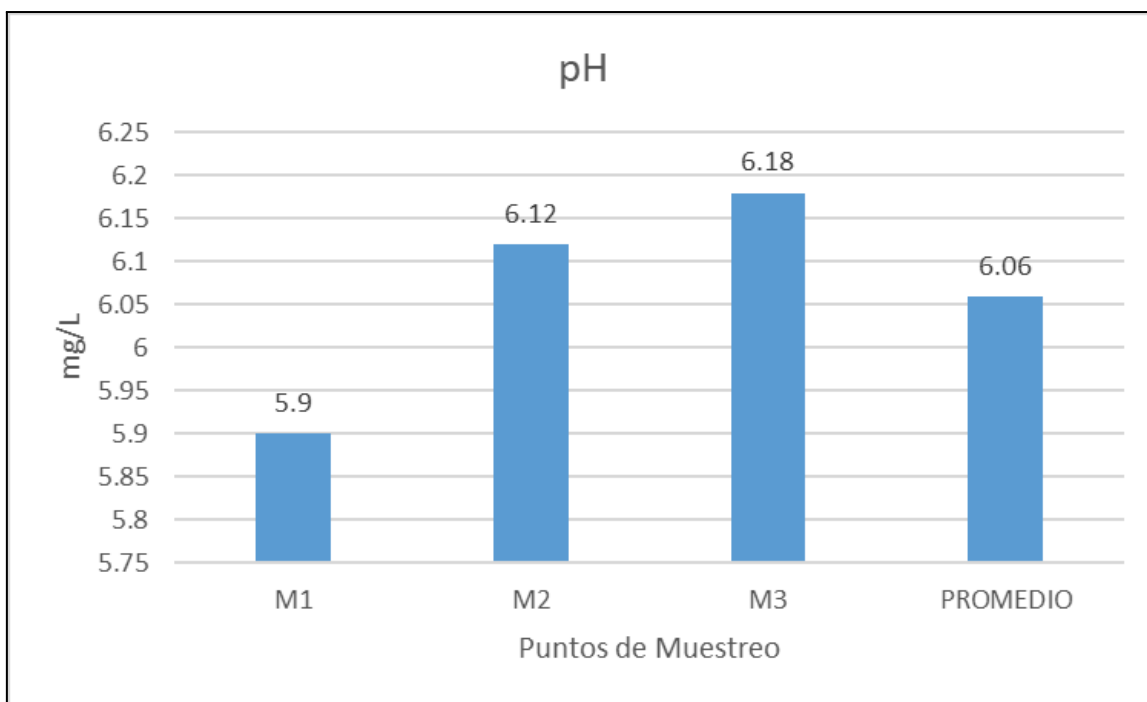


Figura 11: pH

El resultado promedio de pH (Figura 11), equivalente a 6.06, incumple los rangos establecidos por la norma DS 004-2017-MINAM, la cual define límites específicos para mantener condiciones adecuadas en los cuerpos de agua. Este valor indica que el agua presenta una acidez mayor a la permitida, situándose fuera del intervalo óptimo para la mayoría de los ecosistemas acuáticos.

Tabla 12: PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS: Coliformes termotolerantes

PARÁMETRO	M1	M2	M3	PROMEDIO	DS 004-2017-MINAM
Coliformes termotolerantes	720	750	870	780	2 000

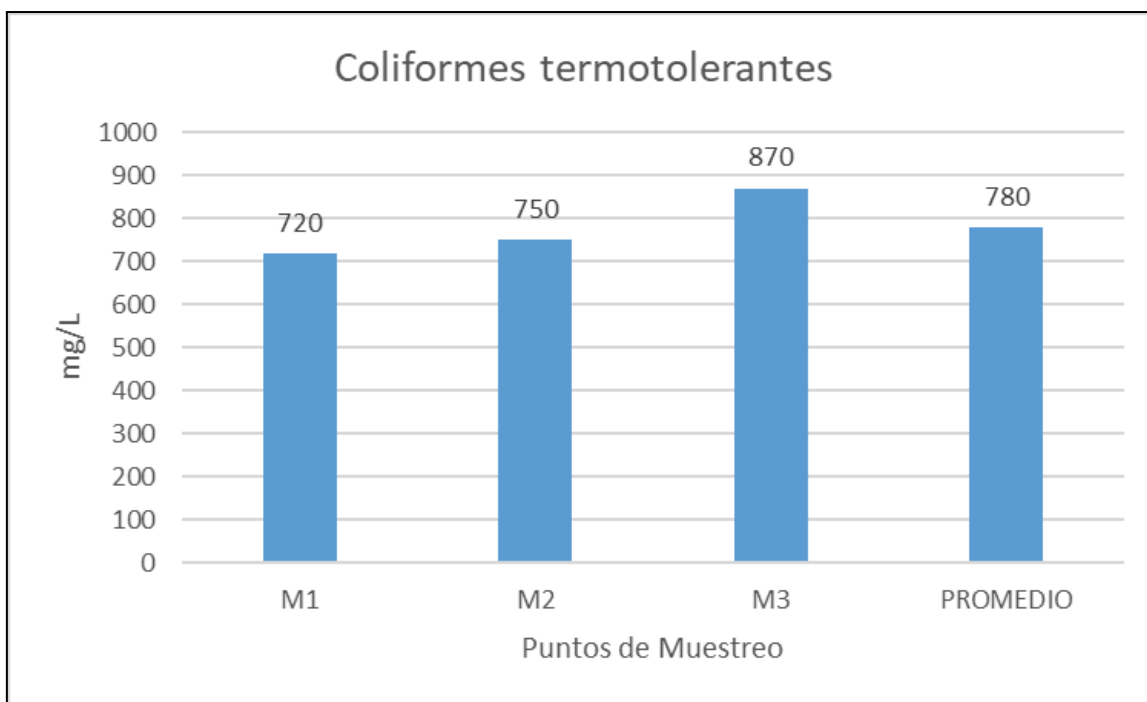


Figura 12: Coliformes termotolerantes

El resultado promedio (Figura 12) de Coliformes Termotolerantes (780) cumple ampliamente con el Límite Máximo Permisible (o ECA) (2,000 NMP/100ml) de la norma DS 004-2017-MINAM, indica que el agua en el punto de muestreo tiene una calidad microbiológica adecuada, no presenta un riesgo significativo de contaminación fecal.

DISCUSIÓN

La alta presencia de Plomo (0.018 mg/L) y Cadmio (0.0070 mg/L) indica una contaminación significativa, lo que concuerda parcialmente con Fernandez (2018) e Incahuanaco (2018), quienes también encontraron niveles de Plomo y Cadmio que superan los límites o que podían causar efectos biológicos adversos. El Cadmio, en particular, fue reportado por Vasquez (2022) (el primer estudio) como un metal que sobrepasa los límites permitidos, similar a los resultados actuales. A diferencia de Fernandez (2018), que detectó Arsénico por encima de los límites, y de Incahuanaco (2018), que lo identificó en cantidades que generaban efectos biológicos adversos frecuentes, los resultados actuales para Arsénico (0.0039 mg/L) cumplen con la norma. Esta discrepancia puede deberse a la dinámica de transporte de contaminantes en la cuenca o a la variación de las descargas mineras en diferentes periodos o puntos

geográficos, destacando que el Arsénico es un contaminante asociado a desechos mineros según Fernandez (2018). El Zinc presentó una superación marginal (0.131 mg/L vs. LMP 0.12 mg/L), lo cual, si bien es un incumplimiento, es menos tóxico que el Plomo y el Mercurio. Vasquez (2022) también identificó niveles elevados de Zinc en la parte alta de la cuenca, lo que refuerza la idea de una fuente de contaminación activa en el sistema hídrico.

El análisis de los parámetros físico-químicos y microbiológicos proporciona contexto sobre la calidad general del agua: pH: El resultado promedio de pH (6.06) indica que el agua es más ácida de lo permitido por la norma (incumplimiento). Este hallazgo se relaciona directamente con la presencia de metales pesados. Vasquez (2022) observó que la presencia de metales pesados disminuye el pH del agua, especialmente en época de sequía. La acidificación del agua es una consecuencia conocida del Drenaje Ácido de Mina (DAM), la cual incrementa la solubilidad y biodisponibilidad de los metales tóxicos, exacerbando el riesgo para la vida acuática. Conductividad Eléctrica (CE): La baja CE (0.42) sugiere una baja concentración de sales y sólidos disueltos, lo que aísla la fuente de contaminación a los metales pesados específicos y no a una alta salinidad general. Sin embargo, Vasquez (2022) reportó una relación directa entre la conductividad eléctrica y varios metales, lo que podría indicar que, aunque los iones generales sean bajos, los iones metálicos específicos (tóxicos) están contribuyendo a esa conductividad localmente. Cobre, Nitratos y Coliformes: Los resultados satisfactorios para Cobre, Nitratos y Coliformes Termotolerantes indican que el problema de calidad de agua en el punto de muestreo se centra casi exclusivamente en la contaminación por metales pesados y la acidificación, sin un riesgo significativo de contaminación microbológica o por nutrientes (nitratos) en ese momento.

CONCLUSIONES

PRIMERA. Los resultados determinaron que las concentraciones de metales pesados como Cadmio, Mercurio, Plomo y, marginalmente, Zinc, superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el agua de la normativa vigente (DS 004-2017-MINAM). Este incumplimiento normativo representa un riesgo potencial para la salud pública y el ecosistema acuático.

SEGUNDA. Se evaluaron las concentraciones de metales pesados en las aguas, encontrándose que los niveles promedio de Mercurio (0.0017 mg/L), Plomo (0.018 mg/L) y Cadmio (0.0070 mg/L) exceden significativamente el Límite Máximo Permisible (LMP) o el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) establecido en la DS 004-2017-MINAM. Esto indica una contaminación grave y persistente del río, dada la alta toxicidad y el carácter contaminante de estos elementos. La concentración de Zinc (0.131 mg/L) también incumple el estándar, aunque de manera marginal. En contraste, las concentraciones promedio de Arsénico (0.0039 mg/L) y Cobre (0.01 mg/L) cumplen ampliamente con los estándares normativos. El resultado promedio de pH (6.06) incumple la norma, indicando que el agua es más ácida de lo permitido, esta acidez representa un riesgo para la vida acuática, los parámetros de Conductividad Eléctrica (0.42 μ S/cm) y Nitratos (0.32 mg/L) cumplen satisfactoriamente con los límites máximos permisibles, indicando una baja concentración de sales, sólidos disueltos y un nivel de nutrientes adecuado en relación con los estándares.

TERCERA. Los parámetros microbiológicos evaluados en las aguas superficiales indican que el promedio de Coliformes Termotolerantes (780 NMP/100ml) cumple ampliamente

con el estándar normativo (LMP: 2,000 NMP/100ml), sugiriendo que el punto de muestreo no presenta un riesgo significativo de contaminación fecal.

RECOMENDACIONES

A la: Autoridad Nacional del Agua: ANA y OEFA

PRIMERA. Evaluar la viabilidad de implementar sistemas de tratamiento (por ejemplo, humedales artificiales, bioremediación con plantas hiperacumuladoras)

SEGUNDA. Fiscalización Rigurosa: La Autoridad Ambiental competente (por ejemplo, OEFA y ANA) debe ejercer una fiscalización más estricta y aplicar las sanciones correspondientes a los responsables de las descargas que superan los Límites Máximos Permisibles (LMP) en sus Efluentes o los ECA en el cuerpo receptor.

TERCERA. Evaluar la posibilidad de declarar una alerta hídrica para el río Crucero en la categoría de uso poblacional y recreacional, informando a la población local sobre los riesgos de consumir o usar el agua directamente, especialmente en lo que respecta a Mercurio, Plomo y Cadmio.

BIBLIOGRAFÍA

- Azcona Cruz, M., & Ramírez, R. (2025). Efectos tóxicos del plomo. 20, 7.
- Bautista G. (2021). El efecto de la microbiota sobre la fisiología de las barreras hematotisulares. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, <https://doi.org/10.24875/RMIMSS.M20000073>
- Branfireun A., A. B., & Fierro, J. (2022). Vías de oxidación y reducción química del mercurio relevantes para las aguas naturales. <https://doi.org/10.3390/w14121891>
- Camargo, A., Camacho, J., Camargo, A., & Camacho, J. (2019). Convivir con el agua. *Revista Colombiana de Antropología*. <https://doi.org/10.22380/2539472x.567>
- Canales-Gutiérrez, Á. (2021). Las cuencas hidrográficas y los relaves mineros. *Journal of the Selva Andina Biosphere*. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2021.090200067>
- Coayla, E., Romero Carrion, V. L., Bedón Soria, Y. T., Coayla, E., Romero Carrion, V. L., & Bedón Soria, Y. T. (2024). Regulación económica e impacto ambiental de la gran minería cuprífera en el desarrollo de Perú. *Economía, sociedad y territorio*. <https://doi.org/10.22136/est20242032>
- De echave, J. (2016). La minería ilegal en Perú.. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/103257046/11-libre.pdf?1686488928=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DLa_mineria_ilegal_en_Peru_Entr_e_la_infor.pdf&Expires=1746743250&Signature=BQmtD74Bjz6C6~fRUZnJBbzjh6bwtjijPAXDwtQLVprHLp2lg8JDKmy0w3QUqNmmbAdECbdcvEGTgT0Glrk-mZyRUNZ1uSNGxnczCy4bU~ROkUfI8~0eUFmD2h9ajTKUJ3zfoZcX0OVFsT7Nwa1uu-YgFdrcrfcdAxxRNlrBULqwV5cnfAnRYZ6YznlfJRKRUB8eVMsp40AAg2e~Ldfelgct-RBqCu8sMwyCOM0k7QA6xKhxdA6XWM4Hgi23FFzfBFPa5hPwUgQA8uj6dY8Y2QkDH8NzzXrs7IV02o9M0AUvhAkarsAyfL~yc~MehPQwSBXjKG546uPfDIpRY48AmMTg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- Ferrer, Y. R. (2016). SEGUIMIENTO EN EL TIEMPO DE LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL EN PROYECTOS MINEROS. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.42.16>

- Galvín, R. M. (2000). Físicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas. Ediciones Díaz de Santos.
- González, V. (2018). Evaluación del riesgo de contaminación por metales pesados (Hg y Pb) en sedimentos marinos del Estero Huayla, Puerto Bolívar, Ecuador.
- Humpiri Ramos, I. (2017). Concentración de los metales pesados y propuestas de recuperación en la Sub-cuenca del río Crucero.
- Importancia de los metales pesados. (s. f.). Recuperado 8 de mayo de 2025, de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6978/02INTRODUCCION.pdf>
- Incahuanaco Quispe, V. (2018). Identificación de puntos críticos por contaminación de metales tóxicos (Cadmio, Mercurio, Plomo y Arsénico) mediante análisis de sedimentos superficiales de la Subcuenca del Río Crucero, Cuenca Azángaro – Puno, 2018.
- Indigoyen Porras, J. D. R. (2023). Aplicación de enmiendas orgánicas y fitorremediación en suelos agrícolas contaminados por plomo en la margen izquierda de la cuenca media del río Mantaro.
- Juliana Hurtado Rassi. (s. f.). Recuperado 26 de mayo de 2025, de <https://core.ac.uk/download/pdf/521878193.pdf>
- Libro historia natural cultural mercurio. (s. f.). Recuperado 5 de mayo de 2025, de https://aargentinapciencias.org/wp-content/uploads/2017/10/libro_historia_natural_cultural_mercurio.pdf
- Lozada Vilca, R. A., Argota Pérez, G., Ramos Ninaja, E., & Choqueneira Ccama, R. M. (2021). Reactor de flujo continuo para la remoción del plomo por electrocoagulación en las aguas del río Coata, Puno-Perú. Revista Campus.
- Manrique, H., & Sanborn, C. (2021). La minería en el Perú: Balance y perspectivas de cinco décadas de investigación. [file:///C:/Users/BALANET/Downloads/DI16%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/BALANET/Downloads/DI16%20(1).pdf)
- Marón Mamani, C. N. (2022). Adsorción de As y Pb de aguas del río Crucero—Sector Progreso empleando cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) como bioadsorbente.

Universidad Nacional del Altiplano.

<https://renati.sunedu.gob.pe/handle/renati/1731510>

Mendocilla Custodio, V. H. (2019). La minería informal y su impacto en la contaminación ambiental.

Nivel de contaminación por metales pesados: Hg, Pb, As y Cianuro (CN⁻), en el naciente río Binacional Puyango –Tumbes (Perú – Ecuador). (s. f.). Recuperado 22 de mayo de 2025, de

<https://dspace.unitru.edu.pe/items/857ec3fa-a5b7-4101-bd10-2f55a0093415>

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>

Oficina de Innovación y Análisis. Sección de Toxicología. (s. f.). Tox FAQs™—Cobre. 03 - 04 - 2022, 3.

Osores Plenge, F., Rojas Jaimes, J. E., & Manrique Lara Estrada, C. H. (2015). Minería informal e ilegal y contaminación con mercurio en Madre de Dios: Un problema de salud pública. *Acta Médica Peruana*.

Pabón, S. E., Benítez, R., Sarriá, R. A., Gallo, J. A., Pabón, S. E., Benítez, R., Sarriá, R. A., & Gallo, J. A. (2020a). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería* <https://doi.org/10.31908/19098367.0001>

Padilla, C. R. (2021). Intoxicación por arsénico. 01- 08 - 2020, 38, 13.

Pérez-Vega, A., Regil García, H. H., Mas, J. F., Pérez-Vega, A., Regil García, H. H., & Mas, J. F. (2020). Degradación ambiental por procesos de cambios de uso y cubierta del suelo desde una perspectiva espacial en el estado de Guanajuato, México. *Investigaciones geográficas*, 103. <https://doi.org/10.14350/rig.60150>

Quispe Mamani, E., Chaiña Chura, F. F., Salas Ávila, D., & Belizario Quispe, G. (2022). Imaginario social de actores locales sobre la contaminación ambiental minera en el altiplano peruano. *Revista de ciencias sociales*.

Ríos Muertos. Cicatrices de la minería en el sur del Perú. (s. f.). Recuperado 9 de diciembre de 2025, de

<https://www.connectas.org/especiales/contaminacion-minera-rios-peru>

Ritimo. (2016, junio 24). El funcionamiento de la minería en el Perú. Ritimo.

<https://www.ritimo.org/El-funcionamiento-de-la-mineria-en-el-Peru>

Santos-Pastor, M. L., Martínez Muñoz, L. F., & Cañadas Martín, L. (2018). Actividades Físicas en el Medio Natural, Aprendizaje-Servicio y discapacidad intelectual. Espiral. Cuadernos del profesorado.

Teran Dianderas, A. G. (2022). Análisis de los impactos sociales y ambientales de la minería aurífera informal en el distrito de Ananea—Puno. Universidad Nacional del Altiplano. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18789>

USGS. (2019, junio 19). Escala de pH | Servicio Geológico de Estados Unidos. <https://www.usgs.gov/media/images/ph-scale-0>

Vasquez Huaman, J. P. (2022a). Contaminación por metales pesados en la microcuenca urbana del Río Ichu en la ciudad de Huancavelica, 2022. <https://hdl.handle.net/20.500.14597/4708>

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia: concentración de metales pesados y parámetros microbiológicos del río crucero distrito de Ananea - 2025

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE	INDICADORES	INSTRUMENTO	METODOLOGÍA
¿Cuáles son los niveles de concentración de metales pesados y parámetros microbiológicos presentes en las aguas del río Crucero, en el distrito de Ananea 2025?	Determinar los niveles de concentración de metales pesados y parámetros microbiológicos presentes en las aguas del río Crucero, en el distrito de Ananea 2025	El presente estudio es univariable y es descriptivo	Univariable: Metales pesados del río crucero	plomo, mercurio, cadmio, arsénico, cobre y zinc. parámetro microbiológico: Coliformes Termotolerantes	ECA del agua DS N° 004-2027-MINAM Categoría 4: Conservación del medio acuático E2: Ríos costa y sierra Parámetros: Inorgánicos (metales pesados) y microbiológicos	Enfoque: cuantitativo Diseño de investigación: No experimental Tipo: Descriptivo-transversal Población/Muestra: 4 km de longitud, la muestra fue no probabilístico y por conveniencia Método estadístico: Estadística descriptiva
Problemas específicos ¿Cuáles son las concentraciones de metales pesados específicos en las aguas superficiales del río Crucero en el distrito de Ananea? ¿Cuáles son los parámetros microbiológicos en las aguas superficiales del río Crucero en el distrito de Ananea?	Objetivos específicos Evaluar las concentraciones de metales pesados específicos en las aguas superficiales del río Crucero en el distrito de Ananea Evaluar los parámetros microbiológicos en las aguas superficiales del río Crucero en el distrito de Ananea					

Anexo 02: Resultados de concentración de metales pesados



MEGALABORATORIOS QUÍMICOS DE LOS ANDES S.A.C
ANÁLISIS DE AGUAS – SUELOS – MINERALES Y OTROS.
CON EQUIPOS CALIBRADOS Y CERTIFICADOS POR
COMPARACIÓN DE TRAZABILIDAD DIRECTA DE INACAL.
RUC: 20612800741.

INFORME DE ENSAYO 0144/MQA RESULTADO DE ANÁLISIS

ASUNTO: ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUA.

PROCEDENCIA : M-01 – ANANEA / M-02 – JANCCOCALA / M-03 – QUISCUPUNCO.
INTERESADO : MARLENI DIANA TICONA QUISPE.
MOTIVO : ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO.
FECHA DE MUESTREO : 28/07/2025 (por el interesado).
FECHA DE ANÁLISIS : 30/07/2025.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

PARAMETROS	UNIDAD	M - 01	M - 02	M - 03	METODOLOGÍA
Coordenadas	Latitud sur	14°41'8.51"	14°39'45.21"	14°31'6.49"	GPS
	Longitud oeste	69°29'45.74"	69°34'31.81"	69°40'22.06"	
pH		5.90	6.12	6.18	Potenciómetro
C.E	mS/cm	0.44	0.43	0.41	Conductímetro
Temperatura (°C)	°C	14.00	14.00	13.80	Termómetro
Sólidos Disueltos Totales	g/l	0.22	0.21	0.20	Evaporación y pesaje

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:

Dureza Total (como CaCO ₃)	mg/l	323.00	319.20	312.80	Titulación con EDTA
Alcalinidad (como CaHCO ₃)	mg/l	110.90	99.81	95.10	Titulación ácido-base
Cloruros (como Cl ⁻)	mg/l	14.18	12.76	11.80	Titulación de Mohr
Sulfatos (como SO ₄ ²⁻)	mg/l	94	194	85	Espectrofotometría (Método de bario).
Nitratos (como NO ₃)	mg/l	0.80	0.06	0.10	método colorimétrico
Calcio (como Ca ²⁺)	mg/l	63.84	62.32	59.40	Titulación con EDTA
Magnesio (como Mg ²⁺)	mg/l	39.43	39.43	37.80	Titulación con EDTA
Cadmio (como Cd)	mg/l	0.0021	0.0020	0.017	Absorción atómica
Plomo (como Pb)	mg/l	0.019	0.018	0.017	Absorción atómica
Zinc (como Zn)	mg/l	0.135	0.140	0.120	Absorción atómica
Arsénico (como As)	mg/l	0.0041	0.0039	0.0038	Absorción atómica
Mercurio (como Hg)	mg/l	0.0003	0.003	0.002	Absorción atómica
Cobre (como Cu)	mg/l	0.011	0.010	0.0098	Absorción atómica

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO:

Coliformes totales	NMP/100ml	1,300	1,200	1,600	APHA 9221B / EPA 1680
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	720	750	870	APHA 9222D / EPA 1603

INTERPRETACION:

El agua analizada es en iones líquido por lo tanto los resultados serán interpretados en el área correspondiente.

- La muestra se recepcionó en el laboratorio.



Salvador Justo Morales Yucra
INGENIERO QUÍMICO
ANALISTA DE LABORATORIO



Gerente
RUC: 20612800741

Jr. Esmeralda N°193 URB - Villa Florida – a una cuadra del local Pégota - Puno
Cel. 973296546 – 983003185

Anexo 03: Evidencia fotográfica



Figura 13: Recolección de muestra punto 1



Figura 14: Recolección de muestra punto 2



Figura 15: Recolección de muestra punto 3



Figura 16: Recojo de muestras