



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL



**EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN EL
SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DESTINADA
A CONSUMO HUMANO EN EL CENTRO POBLADO
LA RINCONADA, PUNO 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. EUDES RUDY CONDORI TRUJILLO

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANTARIO Y AMBIENTAL**

JULIACA – PERÚ

2025



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DESTINADA A CONSUMO HUMANO EN EL CENTRO POBLADO LA RINCONADA, PUNO 2024

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. EUDES RUDY CONDORI TRUJILLO

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL**

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

:



Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

PRIMER MIEMBRO

:



Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

SEGUNDO MIEMBRO

:



M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

ASESOR DE TESIS

:



Dr. ARNALDO YANA TORRES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

:

SANEAMIENTO AMBIENTAL – P22



RESOLUCIÓN DECANAL N° 1373-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 27 de octubre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025 - C - 5836 presentado por el (la) Bachiller: **EUDES RUDY CONDORI TRUJILLO** estudiante de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **EUDES RUDY CONDORI TRUJILLO**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DESTINADA A CONSUMO HUMANO EN EL CENTRO POBLADO LA RINCONADA, PUNO 2024**, la misma que pertenece a la línea de investigación **CONTAMINACION Y CALIDAD AMBIENTAL** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. - **APROBAR**, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- * **Presidente** : Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
- * **1er Miembro** : Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA
- * **2do Miembro** : M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

ARTICULO SEGUNDO. - **RECONOCER** como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Dr. ARNALDO YANA TORRES**.

ARTICULO TERCERO. - **APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de él (la) bachiller: **EUDES RUDY CONDORI TRUJILLO**; del informe final de la investigación (tesis) titulada: **EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DESTINADA A CONSUMO HUMANO EN EL CENTRO POBLADO LA RINCONADA, PUNO 2024** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : lunes 03 de noviembre del 2025
- * **HORA** : 14:00 horas
- * **LUGAR** : Aula 306 - FICP

ARTÍCULO CUARTO. - **DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc. Archivo



"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 706-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 18 de julio del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU - 4847 por el señor (a): EUDES RUDY CONDORI TRUJILLO quien solicita REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis), el PROVEIDO - N° 485- 2025-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS) formato N° 025- 2025 del integrante del comité de investigación EPISA de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): EUDES RUDY CONDORI TRUJILLO, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DESTINADA A CONSUMO HUMANO EN EL CENTRO POBLADO LA RINCONADA, PUNO 2024, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación MSc. Jesus Esteban Castillo Machaca de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 025- 2025 aprobando el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DESTINADA A CONSUMO HUMANO EN EL CENTRO POBLADO LA RINCONADA, PUNO 2024, Correspondiente a la línea de investigación CONTAMINACION Y CALIDAD AMBIENTAL.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS), para la REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN, presentado por el señor (a): EUDES RUDY CONDORI TRUJILLO, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema Titulado: EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DESTINADA A CONSUMO HUMANO EN EL CENTRO POBLADO LA RINCONADA, PUNO 2024 correspondiente a la línea de investigación CONTAMINACION Y CALIDAD AMBIENTAL, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como ASESOR DE INVESTIGACIÓN al (a) la), Dr. ARNALDO YANA TORRES.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

[Handwritten signature and stamp]

[Stamp: DIRECTOR and signature]

cc. Archivo interesado (a)



RESOLUCIÓN DECANAL N° 051-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 09 de enero del 2025

VISTO: El expediente N° 2024-CU- 8138, presentado el señor (a) **EUDES RUDY CONDORI TRUJILLO** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO - N° 1516 -2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 166-2024 del integrante del comité de investigación **EPISA** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **EUDES RUDY CONDORI TRUJILLO** ha presentado su propuesta de investigación **Titulado: EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DESTINADA A CONSUMO HUMANO EN EL CENTRO POBLADO LA RINCONADA, PUNO 2024**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Mgtr. Franz Joseph Barahona Perales** de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 166-2024- aprobando la propuesta de investigación **titulado: EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DESTINADA A CONSUMO HUMANO EN EL CENTRO POBLADO LA RINCONADA, PUNO 2024**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R, y en merito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): **EUDES RUDY CONDORI TRUJILLO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema **Titulado: EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DESTINADA A CONSUMO HUMANO EN EL CENTRO POBLADO LA RINCONADA, PUNO 2024** correspondiente a la línea de investigación **CONTAMINACION Y CALIDAD AMBIENTAL**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente **Dr. ARNALDO YANA TORRES**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
[Signature]
Dr. MILTON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
[Signature]
Dr. Efraín Parilla Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc:
Archivo 2025
Interesado (a)



18% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 14% Fuentes de Internet
- 7% Publicaciones
- 13% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Metadatos complementarios



TÍTULO DE LA TESIS

EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DESTINADA A CONSUMO HUMANO EN EL CENTRO POBLADO LA RINCONADA, PUNO 2024

Datos de autor

Nombres y apellidos	EUDES RUDY CONDORI TRUJILLO
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70414949
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0002-3499-523X

Datos de asesor

Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41414676
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-6740-5024

Datos del jurado

Presidente del jurado

Nombres y apellidos	OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02371550


Miembro del jurado 1

Nombres y apellidos	FRITZ WILLY MAMANI APAZA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02306659

Miembro del jurado 2

Nombres y apellidos	JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA MAMANI
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	01323821



Datos de investigación	
Línea de investigación	CONTAMINACION Y CALIDAD AMBIENTAL -P22
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	<p>Pais: Perú Departamento: Puno Provincia: San Antonio de Putina Distrito: Ananea</p> <p>Coordenadas: Latitud: -14.632711 Longitud: -69.4513473 https://maps.app.goo.gl/n9X26Dag6M9USrmk8</p> 
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Enero 2025 – Octubre 2025
URL de disciplinas OCDE	<p>Ingeniería ambiental https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.00</p> <p>Ingeniería ambiental y geológica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01</p>



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS FÍSICAS
 Dr. Fritz Willy Manríquez Apaza
 DIRECTOR
 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo, EUDES RUDY CONDORI TRUJILLO identificado con DNI Nro. 70414949 en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional
Programa de Segunda Especialidad,
Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación, Trabajo Académico denominada:

“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DESTINADA A CONSUMO HUMANO EN EL CENTRO POBLADO LA RINCONADA, PUNO 2024”

Asesorado por: Dr. ARNALDO YANA TORRES

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 25 de NOVIEMBRE del 2025

Firma manuscrita del asesor

FIRMA ASESOR

Firma manuscrita del tesista

FIRMA TESISTA



Huella



DEDICATORIA

A DIOS por todo lo que hace en mi

A mis padres Andrés y Ana por su apoyo incondicional y por siempre ser ese motivo que me inspiro a seguir adelante

A mi amada esposa luz Vargas por ser mi motivo y inspiración a ser cada día mejor

A mi hermano Jhon por ser un ejemplo de esfuerzo y dedicación y ser ese apoyo para cumplir mis objetivos

A mi hermanita sarahi por ser ese motor y alegría al verla crecer y saber que Dios siempre es fiel y bueno.



AGRADECIMIENTO

A la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez por ser mi casa de estudios y brindarme formación profesional.

A mis amigos de la facultad de ingeniería sanitaria y ambiental quienes fueron una parte fundamental en el ámbito de mi carrera profesional.

A mi asesor de tesis Dr. Arnaldo Yana Torres por brindarme su apoyo incondicional, su tiempo y orientación para la realización de este trabajo de tesis.

A mi familia por ser siempre el motor y motivo para salir adelante en todos los sueños como profesional por confiar siempre en mi.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	xiii

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2.1. Problema General.....	2
1.2.2. Problemas Específicos.....	2
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.4.1. Justificación Técnica.....	3
1.4.2. Justificación Social.....	4
1.4.3. Justificación económica.....	4
1.4.4. Justificación ambiental.....	4
1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.5.1. Hipótesis General.....	5



1.5.2. Hipótesis Específicas	5
1.6. VARIABLES E INDICADORES	5
1.6.1. VARIABLE INDEPENDIENTE	5
1.6.2. Variable Dependiente	6
1.7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	7
2.1.1. Antecedentes Internacionales	7
2.1.2. Antecedente Nacionales.....	11
2.1.3. Antecedentes locales	16
2.2. BASES TEÓRICAS.....	22
2.2.1. Mercurio como contaminante ambiental.....	22
2.2.1.1. Presencia e impacto del mercurio en el agua	22
2.2.1.2. Formas y toxicidad del mercurio	23
2.2.1.3. Daños sobre la salud y grupos vulnerables	23
2.2.1.4. Prevención y recomendaciones institucionales.....	24
2.2.2. Normativa para mercurio en agua de consumo humano.....	25
2.2.2.1. Aplicación del principio precautorio y gestión multisectorial....	25
2.2.2.2. Estándares internacionales y fundamentos sanitarios	26
2.2.3. Efectos del mercurio en la salud humana.....	27
2.2.3.1. Neurotoxicidad y efectos fisiológicos	27
2.2.3.2. Evidencia regional: Andes y Amazonía peruana.....	28
2.2.3.3. Recomendaciones y acciones sanitarias	28
2.2.4. Gestión sanitaria ambiental y tratamiento	29



2.2.5. Las aguas y su calidad 31

2.2.6. Contaminación por mercurio 32

 2.2.6.1. Normativa establecida..... 34

2.3. MARCO CONCEPTUAL 35

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN 39

3.2. TIPO DE LA INVESTIGACIÓN 39

3.3. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN 40

3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN 40

3.5. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN 41

3.6. POBLACIÓN Y MUESTRA 41

 3.6.1. Población..... 41

 3.6.2. Muestra 42

3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS 42

 3.7.1. Técnicas de recolección de datos 42

 3.7.2. Instrumentos de recolección de datos 44

3.8. PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS. 46

 3.8.1. Desarrollo de plan de investigación..... 49

3.9. PROCESAMIENTO DE DATOS 51

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS..... 52

 4.1.1. Concentración de mercurio en el agua potable 52



4.1.2. Comparación de la concentración de mercurio con los estándares de calidad ambiental.	59
4.1.3. Recomendaciones para mitigar riesgos por agua contaminada con mercurio.	64
4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	67
CONCLUSIONES.....	70
RECOMENDACIONES	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
ANEXOS	80



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro de operación de variables.	6
Tabla 2 Eca Agua – Categoría 1.....	34
Tabla 3 Primer Punto De Muestreo En Viviendas.....	54
Tabla 4 Descripción De Los Puntos De Muestreo En Reservorios.	54
Tabla 5 Descripción De Los Puntos De Muestreo En Fuente Natural.	55
Tabla 6 Concentración De Mercurio - Viviendas (Consumo Final).	55
Tabla 7 Concentración De Mercurio - Reservorios (Almacenamiento Intermedio). 56	
Tabla 8 Concentración De Mercurio - Fuente Natural (Captación Del Nevado). ...	57
Tabla 9 Resumen De Concentración De Mercurio.....	57
Tabla 10 Cumplimiento Normativo De Mercurio Por Segmento Del Sistema De Agua.....	59
Tabla 11 Estándares Nacionales De Calidad Para Mercurio En Agua Potable.	60
Tabla 12 Cumplimiento Normativo En Viviendas.	60
Tabla 13 Cumplimiento Normativo En Reservorios.	61
Tabla 14 Cumplimiento Normativo En Fuente Natural.....	62
Tabla 15 Resumen Comparativa De Resultados Y Cumplimiento Normativo. 62	
Tabla 16 Síntesis Y Visualización Normativa.....	64
Tabla 17 Diagnóstico De Riesgos Según Concentración Y Punto Crítico.	64
Tabla 18 Medidas Recomendadas Para Mitigación.....	65
Tabla 19 Resumen De Estado Y Acciones Prioritarias.	66



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Recolección De La Muestra – Primer Punto.....	46
Figura 2	Recolección De La Muestra – Segundo Punto.....	47
Figura 3	Recolección De La Muestra – Tercer Punto.....	48
Figura 4	Concentración De Mercurio Por Punto.	58
Figura 5	Comparativa De Resultados Con La Normativa.....	63



RESUMEN

La presente investigación titulada "Evaluación de la concentración de mercurio en el sistema de abastecimiento de agua destinada a consumo humano en el centro poblado la Rinconada, Puno 2024". Su objetivo principal de este estudio fue evaluar la concentración de mercurio en el sistema de abastecimiento de agua destinada a consumo humano en el centro poblado La Rinconada. Se realizó una investigación cuantitativa, descriptiva y no experimental con muestreo de agua en tres puntos clave: viviendas, reservorios y fuente natural (nevado Riti Pata). Se recolectaron nueve muestras, con análisis de mercurio mediante espectrometría de absorción atómica y espectrometría de masas ICP-MS, evaluando la concentración según los Estándares de Calidad Ambiental para agua potable en Perú (DS N° 004-2017-MINAM). La concentración de mercurio en viviendas superó los límites máximos permitidos (0,0023 a 0,0032 mg/L), indicando un riesgo sanitario importante. En reservorios, las concentraciones fueron menores, pero aún superaron el límite para agua con tratamiento simple (0.0012 a 0.0015 mg/L). En la fuente natural, los niveles fueron menores al límite de detección (≤ 0.001 mg/L), cumpliendo los estándares.

El agua en La Rinconada presenta contaminación por mercurio creciente a lo largo del sistema, afectando especialmente al consumidor final. Es necesario implementar medidas de tratamiento domiciliario, mejorar procesos en reservorios, conservar la fuente natural y establecer un monitoreo y educación comunitaria para garantizar agua segura y proteger la salud pública.

Palabras clave: Mercurio, Contaminación del agua, Agua potable, Calidad ambiental.



ABSTRACT

This research, entitled "Evaluation of Mercury Concentration in the Drinking Water Supply System of the La Rinconada Population Center, Puno 2024," aimed to assess the concentration of mercury in the drinking water supply system of the La Rinconada population center. A quantitative, descriptive, and non-experimental study was conducted, sampling water at three key points: homes, reservoirs, and a natural source (Riti Pata snow-capped mountain). Nine samples were collected and mercury was analyzed using atomic absorption spectrometry and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), evaluating the concentration according to the Environmental Quality Standards for drinking water in Peru (Supreme Decree No. 004-2017-MINAM). The mercury concentration in homes exceeded the maximum permissible limits (0.0023 to 0.0032 mg/L), indicating a significant health risk. In reservoirs, concentrations were lower, but still exceeded the limit for water with simple treatment (0.0012 to 0.0015 mg/L). In the natural source, levels were below the detection limit (≤ 0.001 mg/L), meeting the standards.

The water in La Rinconada shows increasing mercury contamination throughout the system, particularly affecting the end consumer. It is necessary to implement household water treatment measures, improve processes in reservoirs, conserve the natural source, and establish community monitoring and education to guarantee safe water and protect public health.

Keywords: Mercury, Water pollution, Drinking water, Environmental quality.



INTRODUCCIÓN

Debido a que es necesaria para la supervivencia y el crecimiento humanos, el agua potable es un activo importante en la lucha por la preservación ecológica y el bienestar público. Debido a su gran toxicidad, longevidad en el ecosistema y potencial de bioacumulación, el envenenamiento del agua por metales pesados, especialmente el mercurio, es uno de los problemas medioambientales más acuciantes a escala mundial.

La región de Puno, y específicamente el centro poblado La Rinconada, enfrenta la problemática de contaminación por mercurio derivada de actividades mineras y la precariedad de infraestructuras y sistemas de tratamiento del agua potable. Esta condición vulnera la salud pública y dificulta el acceso a agua de calidad, afectando el bienestar social y económico de la población.

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo evaluar la concentración de mercurio en el sistema de abastecimiento de agua destinada a consumo humano en La Rinconada durante el año 2024. Este estudio permitirá identificar los niveles de contaminación, contrastar los hallazgos con los Estándares de Calidad Ambiental establecidos por la normativa peruana, y proponer recomendaciones concretas para la mitigación del riesgo, contribuyendo de esta manera a la gestión ambiental local y al mejoramiento de la calidad del agua potable para los habitantes.

La tesis consta por 4 capítulos:

Capítulo I: Introduce los fundamentos de la investigación, analizando el problema central, el contexto actual, la delimitación del tema y los objetivos del estudio, destacando su relevancia en el campo.



Capítulo II: Presenta definiciones clave y conceptos esenciales, respaldados por fuentes académicas, para asegurar claridad y coherencia en el trabajo.

Capítulo III: Expone el enfoque metodológico, detallando los procedimientos de recopilación y análisis de datos, las herramientas y técnicas empleadas para obtener resultados válidos.

Capítulo IV: Presenta los hallazgos del estudio, analizando los objetivos establecidos y ofreciendo interpretaciones que permiten comprender la importancia de los resultados obtenidos.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La contaminación por mercurio en el agua potable es una problemática ambiental y sanitaria que afecta a nivel global, con especial incidencia en América Latina, donde la minería ilegal y artesanal representa una de las principales fuentes de liberación de este metal tóxico al medio ambiente Suasaca (2025); Mongabay (2025). Estudios internacionales indican que comunidades indígenas y rurales expuestas a actividades mineras presentan niveles alarmantes de mercurio, de una manera que pone en peligro la salud de las personas, especialmente la de los bebés y las mujeres embarazadas Vega et al., (2025); Coa (2023).

En el contexto nacional, Perú enfrenta una grave crisis ambiental derivada de la contaminación por mercurio debido a la minería ilegal, con impactos significativos en regiones como Madre de Dios, Loreto y Puno. Reportes oficiales y académicos señalan que más del 30% de la población peruana consume agua contaminada con metales pesados, incluido el mercurio, lo que representa un grave riesgo sanitario Defensoría del Pueblo (2023); Suasaca (2025). Además, varias investigaciones han documentado la presencia persistente de mercurio en fuentes hídricas y suelos vinculados a zonas mineras, resaltando la necesidad



urgente de medidas efectivas de control y mitigación Velásquez (2023); Cochachin, (2024).

A nivel local, la región Puno y particularmente el centro poblado La Rinconada evidencian una problemática aguda por contaminación de mercurio en sus fuentes de agua potable, relacionada con la minería artesanal y la falta de infraestructuras adecuadas de tratamiento y monitoreo Puno Región Gobernanza (2020); Velásquez (2023); Wayka (2020). Estudios recientes indican que las comunidades locales presentan síntomas asociados a intoxicación por mercurio, y que el agua consumida frecuentemente supera los límites máximos permisibles para metales pesados, afectando la calidad de vida y la salud pública Calsin (2023); Mongabay (2025).

Esta situación motiva la necesidad de evaluar rigurosamente la concentración de mercurio en el sistema de abastecimiento de agua destinado al consumo humano en La Rinconada, Puno, con el fin de diagnosticar el problema, determinar su alcance y proponer soluciones efectivas que mitiguen los riesgos ambientales y sanitarios para la población afectada.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema General

¿En qué estado se encuentra la concentración de mercurio en el sistema de abastecimiento de agua destinada a consumo humano en el centro poblado La Rinconada, Puno 2024?

1.2.2. Problemas Específicos

1. ¿Qué concentración de mercurio presenta el sistema de abastecimiento de agua destinada a consumo humano en el centro poblado La Rinconada, Puno, 2024?



2. ¿Los valores obtenidos de concentración de mercurio se encuentran dentro de lo establecido por los Estándares de Calidad Ambiental de agua?
3. ¿Cuáles son las acciones necesarias para corregir la problemática ocasionada por consumo de mercurio a través del sistema de abastecimiento de agua?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo General

Evaluar la concentración de mercurio en el sistema de abastecimiento de agua destinada a consumo humano en el centro poblado La Rinconada, Puno 2024.

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Determinar la concentración de mercurio en el sistema de abastecimiento de agua destinada a consumo humano en el centro poblado La Rinconada, Puno 2024.
2. Comparar la concentración de mercurio con los valores establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental de Agua.
3. Proponer recomendaciones basadas en los resultados para mitigar los riesgos asociados al consumo de agua contaminada con mercurio.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Justificación Técnica

El deseo de aprender más motiva este estudio sobre la contaminación por mercurio en sistemas de abastecimiento de agua en zonas de alta minería informal, como La Rinconada. El estudio contribuye a la teoría ambiental y sanitaria al identificar y cuantificar el mercurio en el agua destinada al consumo humano, sosteniendo y actualizando marcos teóricos relacionados a toxicología



ambiental y normativa de agua potable. Permite validar modelos de riesgo y toxicidad específicos para esta región y fortalecer la base científica para futuras investigaciones en ingeniería sanitaria ambiental.

1.4.2. Justificación Social

El estudio es esencial para proporcionar datos concretos sobre el suministro de agua y su calidad para los residentes de La Rinconada, una zona afectada por actividades mineras. Los resultados permitirán identificar puntos críticos de contaminación y evaluar la efectividad del sistema de abastecimiento. Además, se podrán diseñar estrategias de intervención y mitigación que aseguren agua segura y eviten daños sanitarios a la comunidad, facilitando una gestión ambiental más eficaz por parte de las autoridades locales.

1.4.3. Justificación económica

El agua contaminada con mercurio puede causar costos elevados en atención médica por enfermedades asociadas a la intoxicación, además de pérdidas en productividad y bienestar social. Este estudio ayuda a prevenir gastos futuros mediante detectar rápidamente los contaminantes y poner en marcha medidas correctivas, lo que contribuye a la sostenibilidad económica de la región y optimiza la inversión pública en salud y conservación ambiental.

1.4.4. Justificación ambiental

La contaminación por mercurio representa una grave amenaza para el ecosistema acuático y terrestre en La Rinconada. Este estudio evalúa el impacto ambiental de las actividades mineras informales a través del análisis de mercurio en el agua, lo que permitirá promover prácticas sostenibles, proteger la biodiversidad y reducir la contaminación ambiental, alineándose con las



normativas nacionales y compromisos internacionales en materia de medio ambiente.

1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Hipótesis General

Se plantea que la concentración de mercurio en el sistema de abastecimiento de agua destinada a consumo humano en el centro poblado La Rinconada, Puno 2024, superará los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental del Perú, lo que podría representar un riesgo para la salud de la población.

1.5.2. Hipótesis Específicas

1. La concentración de mercurio en las viviendas, reservorios y fuente natural del sistema de abastecimiento de La Rinconada presentará diferencias significativas, siendo mayor en las viviendas que en la fuente natural.
2. Las concentraciones de mercurio detectadas en el sistema de abastecimiento estarán por encima de los límites permitidos en las viviendas y parcialmente en los reservorios, mientras que en la fuente natural se mantendrán dentro de los parámetros seguros establecidos por la regulación ambiental vigente.
3. La aplicación de medidas correctivas y de tratamiento, basadas en los resultados obtenidos, permitirá mitigar los riesgos para la salud derivados del consumo de agua contaminada con mercurio en el centro poblado La Rinconada.

1.6. VARIABLES E INDICADORES

1.6.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Punto del sistema de abastecimiento de agua.

Indicadores:



- Concentración de mercurio (mg/L) por muestra

1.6.2. Variable Dependiente

Concentración de mercurio.

Indicadores:

Categoría normativa:

- A1, A2, A3
- ECA-Agua
- OMS.

1.7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1

Cuadro de Operación de variables.

Variable Independiente	Definición	Dimensiones	Indicadores	Valor final	Inst. Medición	Tipo
Punto del sistema de abastecimiento de agua	Infraestructura y procesos involucrados en la captación, almacenamiento, distribución y consumo de agua potable.	Punto de muestreo: - Vivienda - Reservorio - Nevado	Concentración de mercurio (mg/L) por muestra	0-0.001 mg/L (ECA-Agua D.S. N° 004-2017-MINAM ; OMS)	Ficha técnica y registro de campo	Numérica: continua
Variable Dependiente	Definición	Dimensiones	Indicadores	Valor final	Inst. Medición	Tipo
Concentración de mercurio	Cantidad de mercurio presente en las muestras de agua recolectadas en diferentes etapas del sistema de abastecimiento	Categoría normativa: - A1, A2, A3 ECA-Agua - OMS	Cumple/No cumple con el valor estándar establecido	Cumple: \leq 0.001 mg/L No cumple: $>$ 0.001 mg/L	Espectrometría de absorción atómica, ICP-MS	Categoría: nominal



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Según Herrera (2024) su estudio "Presencia de mercurio en agua de consumo humano". El mercurio es un contaminante altamente tóxico en agua destinada al consumo humano puede originarse tanto por procesos naturales como por actividades antropogénicas. Su entrada en los cuerpos de agua puede ocurrir a través de la minería, la industria, y la quema de combustibles fósiles, entre otras fuentes. La exposición crónica al mercurio ha sido vinculada con una serie de efectos adversos para la salud humana, especialmente en el sistema nervioso central. Esto incluye daños irreversibles en el cerebro, que son particularmente graves en niños, cuyo desarrollo neurocognitivo puede verse afectado incluso con niveles bajos de exposición. Así, el mercurio presente en el agua que beben las personas es peligroso significativa para la salud pública. En este contexto, el presente estudio se centró en realizar una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre la presencia de mercurio en fuentes de agua destinadas al consumo humano. El objetivo principal fue identificar los impactos de este contaminante en la salud humana y evaluar la efectividad de diversos métodos para su eliminación en los sistemas de tratamiento de agua. Para ello,



se consultaron diversas bases de datos académicas y artículos especializados en el tema, con el fin de obtener una visión integral y actualizada sobre los métodos más utilizados para la remoción de mercurio en aguas potables. Los resultados de esta revisión bibliográfica destacaron que los métodos más eficaces para la eliminación de mercurio en agua potable incluyen tecnologías como la osmosis inversa, la coagulación-floculación, la ultrafiltración, la precipitación química, la adsorción con carbón activado y el intercambio iónico. Cada uno de estos métodos tiene ventajas y limitaciones dependiendo de las características del agua a tratar, como el nivel de concentración de mercurio y las condiciones químicas y físicas del agua. Estos procesos se presentan como soluciones prometedoras para mitigar los riesgos relacionados con el suministro de agua contaminada con mercurio.

Según Cadavid et al., (2020) su artículo "El mercurio supone un riesgo para la salud humana y es un contaminante conocido". El mercurio (Hg) es reconocido globalmente como un contaminante de alta peligrosidad, que pone en peligro la salud de los seres humanos, especialmente en aquellos grupos expuestos a sus efectos. Este elemento químico es conocido por sus impacto negativo en el cerebro y la médula espinal, esto puede dañar de forma permanente el cerebro y los sistemas cognitivos de las personas afectadas. Los grupos más vulnerables, como los niños y mujeres embarazadas, son los más propensos a sufrir alteraciones graves, incluyendo problemas de desarrollo neurocognitivo, trastornos del aprendizaje y alteraciones motoras. Por tanto, el mercurio se considera un problema de salud pública urgente que requiere una intervención efectiva a nivel global y local. El mercurio puede ingresar al cuerpo humano de diversas maneras: al consumir agua y alimentos contaminados, la inhalación de



vapores o la absorción dérmica. Las actividades humanas, especialmente la minería en pequeña escala, son una fuente significativa de contaminación por mercurio, ya que en este tipo de minería se utilizan técnicas rudimentarias que no controlan adecuadamente los residuos tóxicos. La exposición crónica al mercurio puede generar una acumulación peligrosa de este metal en el organismo, afectando no solo a los trabajadores de la minería, sino también a las comunidades cercanas, que se ven expuestas al mercurio a través del consumo de alimentos y agua contaminados. Este contexto subraya la necesidad de implementar estrategias de mitigación que aborden tanto las fuentes de contaminación como los mecanismos de exposición. Este artículo de revisión recopila los avances y tendencias más relevantes sobre la contaminación por mercurio, presentando estudios e informes provenientes de bibliografía indexada tanto a nivel nacional, latinoamericano como internacional. La información obtenida resalta la necesidad crítica de tomar medidas inmediatas y generalizadas para limpiar los suministros de agua y alimentos contaminados con mercurio. Las evidencias muestran que la implementación de políticas públicas eficaces, el fortalecimiento de regulaciones ambientales y el fomento de prácticas sostenibles en la minería son medidas esenciales para proteger la salud humana y prevenir futuras afectaciones graves. La intervención inmediata es fundamental para controlar los niveles de mercurio en el ambiente y garantizar la seguridad de las generaciones futuras.

Según Reyes (2019) su estudio "Análisis de la presencia de metales en la red de distribución de agua potable de la ciudad de Bogotá D.C". La presencia de metales tóxicos en el agua potable es una preocupación crítica para la salud pública, ya que cuando sus concentraciones superan los límites establecidos,



pueden provocar efectos adversos significativos en el bienestar de las personas. Metales como el arsénico (As), cadmio (Cd), zinc (Zn), níquel (Ni), selenio (Se), plomo (Pb), cromo (Cr) y mercurio (Hg) son conocidos por sus propiedades tóxicas, que pueden afectar diversos órganos y sistemas del cuerpo humano, entre ellos el sistema nervioso, renal y cardiovascular. Además, la exposición prolongada a estos metales puede tener consecuencias devastadoras, especialmente en grupos vulnerables como niños y mujeres embarazadas. Por lo tanto, resulta fundamental realizar un monitoreo continuo y exhaustivo de calidad del agua, tanto en la fuente como en la red de distribución, para garantizar que se mantenga dentro de los límites seguros establecidos por las normativas de salud pública. Podemos identificar cantidades nocivas y evaluar el cumplimiento de los límites reglamentarios para la potabilidad del agua mediante el análisis de la presencia de estos metales en el agua destinada al consumo humano. Detección de metales pesados en el sistema de distribución de agua también ofrece información crucial para la implementación de estrategias correctivas y preventivas, especialmente en áreas donde los niveles superan las concentraciones permitidas. Además, estudiar las tendencias espaciales y temporales de la contaminación por metales pesados puede proporcionar valiosos datos sobre las fuentes de contaminación, sus posibles variaciones a lo largo del tiempo y las áreas más afectadas, lo que facilita la planificación de intervenciones específicas. Este artículo se enfoca en el análisis de la presencia de metales tóxicos en la red de distribución de agua potable de Bogotá, utilizando muestras obtenidas durante los periodos académicos de 2015-2 a 2018-2 por estudiantes de pregrado del curso Evaluación y Auditoría Ambiental de la Universidad de los Andes. El estudio abarcó ocho localidades de



la ciudad, seleccionadas en función de las direcciones domiciliarias de toma de muestra. Los investigadores de este estudio se propusieron determinar el grado de seguridad del suministro de agua en diversas zonas de Bogotá, determinar los niveles de metales presentes y analizar las implicaciones de estos resultados en la salud de la población. Los hallazgos de este análisis son fundamentales para entender el impacto de contaminación por metales pesados en el suministro de agua para consumo humano y para implementar acciones correctivas a nivel local y regional.

2.1.2. Antecedente Nacionales

Según Delgado & Zavala (2021) su estudio "Potabilidad del agua en el departamento de Arequipa en relación con las concentraciones de metales pesados (arsénico, cadmio, mercurio y plomo)". El objetivo principal de este estudio fue evaluar los niveles de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en las fuentes de agua potable de todo el departamento de Arequipa. Para llevar a cabo esta investigación, se utilizó un enfoque metodológico inductivo, empleando un diseño no experimental con características descriptivas, cualitativas, cuantitativas y transversales. La recopilación de datos constituyó la base de la investigación documentales sobre metales pesados provenientes de diversas fuentes de agua en diferentes provincias del departamento de Arequipa. El análisis documental fue el método principal de recopilación de datos, y los datos se registraron utilizando fichas de registros, lo que permitió sistematizar y comparar los resultados obtenidos en cada una de las provincias evaluadas. Los resultados mostraron variaciones en las concentraciones de los metales pesados analizados entre las provincias de Arequipa. En la provincia de Arequipa, los niveles encontrados fueron: arsénico 0,0288 mg/L, cadmio 0,0002 mg/L,



mercurio 0,0002 mg/L y plomo 0,005 mg/L. En Camaná se observaron 0,0170 mg/L de arsénico, 0,0083 mg/L de cadmio y 0,056 mg/L de plomo. En la provincia de Caravelí se identificó una cantidad significativa de mercurio, con un valor de 0,0699 mg/L. En Castilla, los valores fueron arsénico 0,0003 mg/L, cadmio 0,00003 mg/L, mercurio 0,00005 mg/L y plomo 0,0001 mg/L. En Condesuyos, los resultados fueron arsénico 0,00128 mg/L, cadmio 0,00001 mg/L, mercurio 0,0005 mg/L y plomo 0,00035 mg/L. Por último, en la provincia de Islay, los valores más altos se registraron para el arsénico (0,10534 mg/L), el cadmio (0,00081 mg/L), el mercurio (0,00006 mg/L) y el plomo (0,00714 mg/L). En conclusión, los resultados obtenidos de las seis provincias del departamento de Arequipa muestran que la mayor de las concentraciones de metales pesados analizadas superan los límites máximos permisibles establecidos tanto por el Decreto Supremo N° 031-2010-SA-MINSA como por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Estos hallazgos resaltan la necesidad urgente de tomar medidas correctivas en suministros de agua potable en estas zonas, con el fin de reducir los riesgos para la salud de la población, mejorar la calidad del agua y garantizar su potabilidad. Además, Se deben realizar controles periódicos de la calidad del agua y fortalecer los programas de monitoreo y tratamiento de los recursos hídricos en las áreas más afectadas por la contaminación por metales pesados.

Según Pool (2023) su estudio "Evaluación de metales pesados en el sistema de abastecimiento de agua potable del Centro Poblado de Humaya, 2022". El objetivo principal de este estudio fue evaluar la concentración de metales pesados en el sistema de agua potable del centro poblado de Humaya, y compararlos con los valores establecidos en el capítulo ECA del D.S. 004-2017-MINAM, los LMP del D.S. 031-2010-SA, y los Valores de Referencia (VR)



de la OMS. Este análisis es crucial para garantizar la calidad del agua potable y la seguridad del consumo humano. Siguiendo la metodología de análisis de metales pesados, se seleccionaron aleatoriamente seis puntos de monitoreo para realizar un muestreo probabilístico en un estudio transversal descriptivo y no experimental. El muestreo se realizó en tres momentos diferentes, y las muestras fueron enviadas a un laboratorio certificado por INACAL, donde se utilizó un Espectrómetro de masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) con el fin de determinar la cantidad de metales pesados. Examen estadístico de los datos se basó en un total de 15 mediciones, correspondientes a los puntos de monitoreo HUM-AP-01, HUM-AP-02, HUM-AP-03, HUM-AP-04 y HUM-AP-05. Según los datos, se encontró que el aluminio, el cadmio, el cromo, el manganeso y el mercurio tenían concentraciones inferiores a los MCL establecidos, lo que indica que estos metales no representan un riesgo inmediato para la calidad del agua en el centro poblado de Humaya. Sin embargo, se encontraron concentraciones de otros metales que podrían tener implicaciones para la salud pública. El arsénico presentó concentraciones de 0.00069 mg/L a 0.00088 mg/L, valores que se encuentran dentro de los límites permitidos por la normativa nacional y la OMS, pero que requieren un monitoreo continuo debido a la toxicidad acumulativa de este metal. En cuanto a otros metales, el bario presentó concentraciones de 0.0446 mg/L a 0.0483 mg/L, y el cobre mostró valores entre <math><0.0003\text{ mg/L}</math> y 0.0023 mg/L. Estos niveles de bario y cobre se mantuvieron dentro de los parámetros permitidos por la normativa vigente. Sin embargo, se recomienda realizar un seguimiento continuo de En cuanto a la calidad del agua, en particular la relacionada con metales pesados como el bario y el arsénico, que, a pesar de estar por debajo de los niveles permitidos, podrían,



al acumularse con el tiempo, constituir un peligro para la salud. En conclusión, el agua potable en Humaya cumple la mayoría de los criterios reconocidos, pero es necesario implementar un sistema de monitoreo regular y medidas correctivas en caso de que las concentraciones de metales pesados aumenten, con el fin de mantener la potabilidad del suministro de agua.

Según Maldonado (2024) su estudio "Evaluación de los posibles riesgos toxicológicos asociados a las concentraciones de plomo, mercurio y arsénico en los suministros de agua potable en la zona de la Unión Leticia en 2023.}". Los investigadores de este estudio se propusieron averiguar cuánto plomo, mercurio y arsénico había en el suministro de agua potable del barrio de La Unión Leticia en 2023, así como evaluar los riesgos de toxicidad asociados a estos contaminantes. Para llevar a cabo este análisis, se empleó Las concentraciones de estos metales en el agua se midieron con precisión mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS). Además, se diseñó una estrategia para evaluar los posibles riesgos para la salud, teniendo en cuenta tanto los criterios nacionales de calidad del agua como las limitaciones establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Según los resultados, la concentración media de plomo fue de 0.00031 mg/L, con un valor mínimo de 0.00013 mg/L y un valor máximo de 0.00103 mg/L. Estos valores se mantuvieron por debajo del límite permisible según la OMS y las normas de calidad del agua, por lo tanto, parece que el contenido de plomo es seguro para el consumo humano. En cuanto al mercurio, la concentración promedio fue de 0.00002 mg/L, con un valor mínimo de 0.00001 mg/L y un valor máximo de 0.00002 mg/L, lo que también se encuentra dentro de los límites establecidos por la OMS, indicando que el riesgo por mercurio es bajo en este caso. Sin



embargo, la concentración promedio de arsénico fue de 0.02745 mg/L, con un valor mínimo de 0.022523 mg/L y un valor máximo de 0.03300 mg/L, lo que excede los valores y límites permitidos tanto por la OMS como por las normativas nacionales de calidad del agua. Al aplicar esta concentración a la evaluación de riesgos sanitarios utilizando el índice de peligrosidad (IP), se obtuvo un valor de $IP < 1$, lo que sugiere que el agua potable en La Unión Leticia presenta un riesgo considerable de intoxicación por arsénico. Este descubrimiento pone de relieve la necesidad urgente de tomar medidas inmediatas para reducir los niveles de arsénico en el suministro de agua de este distrito, tanto para proteger la salud pública como para garantizar que el agua que bebe la población sea segura.

Según De la Cruz & Valencia (2022) su estudio "Evaluación de los sistemas de abastecimiento de agua potable de Sachapite-Huancavelica en 2022". El objetivo principal de este proyecto de estudio era evaluar la calidad del agua para consumo humano en la localidad de Sachapite mediante el análisis de varias características fisicoquímicas, microbiológicas e inorgánicas. Entre los parámetros fisicoquímicos analizados se incluyen la turbidez, el pH, la conductividad y el cloro residual libre (FRC). Además, se evaluaron los parámetros microbiológicos como los coliformes totales y termotolerantes, y los parámetros inorgánicos, específicamente cadmio (Cd), arsénico (As) y cromo (Cr). Se tomaron muestras de agua de diversas fuentes, de lugares como manantiales, embalses y residencias, tras un riguroso procedimiento de recogida, conservación, transporte y almacenamiento de muestras, conforme a las directrices establecidas en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (R. J. N°010 – 2016 – ANA) y la normativa vigente del D.S. N° 004 – 2017-MINAM, que aprueba los Estándares



de Calidad Ambiental (ECA's) para agua. Para este estudio, seguimos las directrices establecidas por el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, que establece las normas de calidad del agua para la producción de agua potable en la categoría 1, subcategoría A1, y el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA, que regula los límites máximos permitidos para contaminantes específicos. El cumplimiento de los criterios de calidad del agua se determinó evaluando los resultados obtenidos con un nivel de significación del 5 %. Se observaron concentraciones de pH, cadmio y arsénico que no cumplieron con las normas vigentes sobre el agua potable establecen restricciones. En última instancia, los resultados del estudio indican que el agua de Sachapite no supera las pruebas necesarias para ser considerada apta para el consumo humano, particularmente en lo que respecta a los niveles de pH, cadmio y arsénico. Esto pone de relieve la necesidad inmediata de adoptar medidas correctivas y de monitoreo continuo para mejorar la calidad del agua en la zona. Es esencial que se tomen acciones para reducir los niveles de contaminantes y verificar que el agua sea apta para el consumo humano comprobando que cumple con las normas de potabilidad; esto protegerá la salud pública y garantizará que las personas tengan acceso a agua de calidad suficiente.

2.1.3. Antecedentes locales

Según Mamani (2024) su tesis "Posible contaminación por mercurio de las fuentes de agua aguas abajo de Ananea en el año 2024". El objetivo principal de este estudio es evaluar la cantidad de mercurio presente en el agua y el impacto potencial que esta concentración podría tener en la calidad del agua aguas abajo de Ananea en el año 2024. Para ello, se seleccionaron de manera aleatoria ocho



puntos de muestreo, ubicados a aproximadamente 100 metros de distancia entre cada uno, con el fin de obtener una muestra representativa de la contaminación por mercurio en la zona. Las muestras, de medio litro cada una, fueron tomadas siguiendo el protocolo estándar de monitoreo de aguas superficiales, y posteriormente enviadas al laboratorio de la EPISA para su análisis. Esta metodología garantizó una evaluación precisa de la concentración de mercurio en el agua a lo largo de diferentes puntos cercanos y alejados de la ciudad. Los resultados obtenidos del análisis de las muestras fueron los siguientes: M-1 con 0.0043 mg/L, M-2 con 0.0038 mg/L, M-3 con 0.0045 mg/L, M-4 con 0.0037 mg/L, M-5 con 0.004 mg/L, M-6 con 0.0038 mg/L, M-7 con 0.0025 mg/L y M-8 con 0.0023 mg/L. A partir de estos resultados, hay pruebas claras de que el agua de la zona contiene niveles muy elevados de mercurio, especialmente en las áreas más cercanas a la ciudad de Ananea. A medida que nos alejamos del centro urbano, las concentraciones disminuyen de manera gradual, lo que sugiere que la fuente principal de contaminación proviene de actividades locales en la zona urbana, como la minería o el uso inadecuado de productos químicos. En base a los resultados obtenidos, se concluye que las concentraciones de mercurio en el agua cerca de Ananea presentan un riesgo serio para la salud de la población. El cuerpo humano es capaz de acumular este metal pesado, lo que dificulta su diagnóstico y tratamiento. Las altas cantidades de mercurio, cuando se exponen durante un período prolongado, pueden causar graves problemas de salud, afectando principalmente que llegan a órganos vitales y al sistema nervioso central. La investigación resalta la necesidad urgente de elaborar planes para rastrear y gestionar la cantidad de mercurio que se filtra en esta región, así como



la adopción de medidas preventivas para mitigar los efectos sobre la salud de los habitantes de Ananea.

Según Tipo (2024) su tesis "Evaluación del sistema de distribución de agua y la calidad del agua en Oruro (distrito de Crucero) en el siglo 2024". El objetivo principal de esta investigación fue En 2024, examinar la planta de tratamiento de agua de Oruro y la calidad del agua que consumen los residentes de la región del Crucero. Para ello, se empleó un enfoque observacional de la investigación descriptiva-deductiva que no incluye experimentos. La investigación incluyó un análisis detallado de inspecciones in situ para evaluar el estado actual de la cadena de suministro, con el fin de identificar posibles fallas en el proceso de distribución del agua. En cada uno de los cinco puntos a lo largo del sistema de suministro —la captación, el embalse, la vivienda inicial, intermedia y final—, así como en tres puntos dentro de la red de distribución, se analizaron los parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua. Los resultados obtenidos mostraron que, en términos generales, los componentes del sistema de abastecimiento (captación, línea de conducción, válvulas de purga y de aire, reservorio, línea de aducción y red de distribución) se encuentran en buen estado. Sin embargo, se identificaron algunas deficiencias importantes, como el mal funcionamiento del sistema de cloración y cuando el estiércol del ganado se deposita sobre la superficie del lecho filtrante, lo que podría comprometer la calidad del agua. Los parámetros físico-químicos analizados mostraron que los valores de pH (8.0 a 8.2), color (4.2 a 5 Pt/Co), turbiedad (1.06 a 1.18 NTU), conductividad eléctrica (292.5 a 298 $\mu\text{mho/cm}$), sólidos suspendidos totales (147 a 155 mg/L) y dureza (142.93 a 148.53 mg/L) mantuvieron su posición dentro de los parámetros establecidos por las normas de calidad, y no superaron los LMP.



Sin embargo, los niveles de cloro libre fueron inferiores a 0.02 mg/L, lo cual podría indicar una desinfección insuficiente del agua. En cuanto al análisis microbiológico, los resultados revelaron que Se presentaron graves riesgos para la salud de los habitantes del centro poblado debido a los niveles de coliformes totales (49 a 58 NMP/100 ml) y organismos de vida libre (1975 a 1995 Org./L) por encima del LMP. Los valores de coliformes fecales y *Escherichia coli* fueron inferiores a 1.8 NMP/100ml, Aunque la ausencia de contaminación fecal importante es alentadora, la presencia de coliformes totales y organismos de vida libre es motivo de preocupación. En conclusión, a pesar de que algunos parámetros físico-químicos se mantienen dentro de los límites permitidos, la calidad del agua en el centro poblado de Oruro es calificada como pésima debido a los problemas microbiológicos identificados, puede poner en peligro la salud de quienes lo utilizan. Esto subraya la necesidad urgente de mejorar los procesos de desinfección y de gestión del sistema de abastecimiento de agua.

Según Vilca (2022) su tesis "Determinación de los niveles de mercurio y plomo de las aguas superficiales en la unidad hidrográfica del río Lampa y su relación con el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental (ECA) para el periodo 2021". El objetivo principal de este estudio fue evaluar la cantidad de plomo (Pb) y mercurio (Hg) en las aguas superficiales de la unidad hidrográfica del río Lampa en el año 2021. Para ello, se realizó una comparación entre los resultados obtenidos y el agua de la categoría 3, tal y como se define en el Decreto Supremo 004-2017 del MINAM, debe cumplir determinados requisitos de calidad ambiental. Esta categoría incluye la calidad del agua en esta región es vital para la supervivencia de los ecosistemas agrícolas y ganaderos, ya que se utiliza tanto para el riego como para el consumo humano como de las



poblaciones locales. Cinco puntos de control seleccionados estratégicamente a lo largo del río proporcionan una imagen representativa de la calidad del agua en toda la cuenca, y el enfoque utilizado fue de naturaleza comparativa. Los estudios fueron realizados por un laboratorio reconocido en Lima utilizando espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) para el análisis de metales pesados, lo que garantiza su corrección y fiabilidad. Los valores promedio obtenidos fueron de 0.0002 mg/L para el mercurio y 0.0030 mg/L para el plomo. Las regulaciones de la ECA para aguas de categoría 3 establecen límites de 0,01 mg/L para el mercurio y 0,05 mg/L para el plomo, que se compararon con estas lecturas. Según los datos, parece que las aguas de la unidad hidrográfica del río Lampa no se contaminaron con plomo ni mercurio durante el período considerado, ya que sus contenidos están por debajo de los límites máximos permitidos. En conclusión, con base en los resultados obtenidos, se puede determinar que la calidad del agua superficial del río Lampa no muestra signos de contaminación por metales pesados en los niveles evaluados. Los valores de mercurio y plomo se encuentran dentro de los parámetros permitidos para la categoría 3 del ECA, lo que significa que los animales pueden beber sin peligro el agua de este río y en el riego de vegetales. Este estudio resalta la importancia de continuar con el monitoreo de los recursos hídricos para garantizar su conservación y uso sostenible, especialmente en zonas donde el abastecimiento de agua depende de fuentes naturales como los ríos.

Según Callizana (2025) su tesis "Las propiedades químicas y físicas de los pozos de agua potable en el asentamiento de Thunco, Acora, en Puno", El objetivo de esta investigación era determinar si las propiedades físicas y



químicas del agua potable de los pozos cumplen los requisitos establecidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. La investigación abarcó factores químicos, incluyendo sólidos totales disueltos, dureza, cloruros, sulfatos, nitratos, nitritos, calcio y magnesio; y parámetros físicos como temperatura, pH, turbidez, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto. Estos parámetros fueron seleccionados debido a que, en concentraciones elevadas, pueden afectar la potabilidad del agua y, por ende, la salud de los consumidores. La metodología empleada fue cuantitativa y descriptiva, y se realizaron muestreos de agua de dos pozos representativos, cuyas muestras fueron analizadas en Megalaboratorios Químicos de los Andes S.A.C., utilizando técnicas de análisis validadas y confiables. Para verificarlo, los datos obtenidos se compararon con los límites máximos permitidos por la legislación nacional si el agua de pozo cumplía con los requisitos de potabilidad. En términos de parámetros físicos, los resultados indicaron que el agua se encuentra dentro de los estándares de calidad, con un pH que varió entre 6.65 y 6.87, una conductividad de 130 a 240 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y un oxígeno disuelto de 6.8 a 6.9 mg/L, lo cual sugiere que el agua es estable, con baja presencia de contaminantes visibles y condiciones favorables para su consumo. Sin embargo, al analizar los parámetros químicos, la mayoría de los resultados se ajustaron a los límites establecidos, excepto los niveles de sulfatos, que presentaron concentraciones superiores a los 250 mg/L permitidos, alcanzando 360 mg/L en el Pozo 1 y 310 mg/L en el Pozo 2. En conclusión, el agua de pozo en la localidad de Thunco es, en general, apta para el consumo humano, con excepción de la concentración elevada de sulfatos en ambos pozos. Esta superación del límite normativo de sulfatos podría ser perjudicial para la salud humana si sus niveles aumentaran de forma constante, dado que



los sulfatos en altas concentraciones pueden causar efectos adversos, como problemas gastrointestinales. Se recomienda un seguimiento continuo de este parámetro por parte de las autoridades sanitarias, así como un estudio más detallado para identificar el origen de los sulfatos en la zona. Además, se sugiere que los gestores del agua consideren la implementación de tratamientos específicos para reducir la concentración de sulfatos, asegurando así la potabilidad y seguridad del recurso hídrico a largo plazo.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Mercurio como contaminante ambiental

El mercurio (Hg) es un elemento químico altamente tóxico, ampliamente reconocido como uno de los contaminantes ambientales de mayor preocupación tanto a nivel mundial como regional en América Latina. Su presencia en el ambiente se debe principalmente a actividades antropogénicas, destacando la minería aurífera artesanal y de pequeña escala (MAPE), la combustión de carbón, y diversas prácticas industriales que liberan este metal en forma gaseosa o particulada Schiavo (2024); OPS (2025). Aunque el mercurio también se encuentra de manera natural en la corteza terrestre, las actividades humanas han incrementado significativamente sus concentraciones y su toxicidad en los ecosistemas OMS (2024).

2.2.1.1. Presencia e impacto del mercurio en el agua

Debido a su capacidad para contaminar las fuentes de agua destinadas al consumo humano, el mercurio representa una amenaza significativa para la salud pública en muchos países latinoamericanos. Estudios recientes han evidenciado concentraciones elevadas de mercurio en cuerpos de agua ubicados en regiones mineras, como La Rinconada en Perú y zonas ribereñas



del Magdalena Medio en Colombia, donde las prácticas de minería aurífera informal son predominantes Coa (2021); Cadavid (2020).

La exposición prolongada a agua contaminada con mercurio, especialmente en comunidades rurales sin acceso a sistemas adecuados de saneamiento o tratamiento de agua potable, puede provocar afecciones gastrointestinales, daño renal, alteraciones neurológicas y enfermedades cardiovasculares OPS/OMS, (2023). Este riesgo es aún mayor entre los miembros más indefensos de la sociedad, incluidos los ancianos, las mujeres embarazadas y los niños pequeños, quienes presentan mayor susceptibilidad fisiológica a las dosis tóxicas OMS (2024).

2.2.1.2. Formas y toxicidad del mercurio

El mercurio se presenta en tres formas principales: elemental (Hg^0 o metálico), inorgánica (Hg^+ y Hg^{2+}) y orgánica, siendo el metilmercurio (CH_3Hg^+) la forma más tóxica y bioacumulable Schiavo (2024). Esta última es producida por microorganismos acuáticos que transforman el mercurio inorgánico en compuestos orgánicos, los cuales se bioacumulan en peces y mariscos y se biomagnifican a lo largo de la cadena trófica, alcanzando al ser humano a través de la alimentación Cadavid (2020).

Tanto la placenta como la barrera hematoencefálica son permeables al metilmercurio, generando daños neurológicos irreversibles y afectando el desarrollo cerebral fetal, lo que lo convierte en un peligro crítico para mujeres gestantes y niños pequeños OMS (2024); OPS (2025). Su toxicidad crónica se asocia con alteraciones motoras, pérdida de memoria, déficit cognitivo y trastornos del comportamiento (Ciencialatina, s.f.).

2.2.1.3. Daños sobre la salud y grupos vulnerables



La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) incluyen al mercurio entre las diez sustancias químicas más peligrosas para la salud pública OMS (2024); OPS/OMS (2023). La exposición aguda o crónica puede provocar daño renal, alteraciones inmunológicas, infertilidad, malformaciones congénitas e incluso la muerte en casos severos Schiavo (2024).

Los niños y fetos son los más susceptibles a la intoxicación mercurial, ya que sus sistemas nervioso y fisiológico están en desarrollo y son menos capaces de metabolizar o eliminar el metal OPS (2025). En comunidades mineras, la exposición constante a vapores de mercurio, combinada con deficiencias nutricionales y falta de atención médica, agrava la vulnerabilidad de estos grupos Cadavid (2020).

2.2.1.4. Prevención y recomendaciones institucionales

Ante esta problemática, la comunidad internacional ha adoptado el Convenio de Minamata sobre el Mercurio, un tratado global que busca reducir las emisiones y liberaciones de mercurio al ambiente, promoviendo la eliminación progresiva de su uso en procesos industriales, productos médicos y actividades mineras OPS (2025).

Tanto la OMS como la OPS enfatizan la importancia de fortalecer la vigilancia epidemiológica, implementar programas educativos sobre los riesgos del mercurio, y fomentar el uso de tecnologías limpias en la minería artesanal OPS/OMS (2023); OMS, (2024). Asimismo, la promoción de alternativas libres de mercurio, el monitoreo ambiental continuo y el desarrollo de políticas públicas integrales son estrategias esenciales limitar la exposición y proteger la salud de las comunidades latinoamericanas Schiavo, (2024); Coa (2021).



2.2.2. Normativa para mercurio en agua de consumo humano

La normativa peruana en materia de control del mercurio (Hg) en el agua destinada al consumo humano se encuentra regulada por los ECA para Agua, aprobados mediante el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2025). Este instrumento legal, emitido por el Ministerio del Ambiente del Perú, establece como límite máximo permisible para la concentración de mercurio total un valor de 0.001 mg/L (miligramos por litro), parámetro que se encuentra en armonía con las directrices internacionales emitidas por la OMS y la OPS, las cuales recomiendan este mismo umbral para la protección de la salud pública OMS (2024).

El Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM dispone la vigilancia y monitoreo continuo de los cuerpos de agua, así como la notificación inmediata ante cualquier incumplimiento o superación de los valores máximos establecidos, dada la alta toxicidad y persistencia del mercurio en el ambiente (MINAM, 2025). Este marco normativo enfatiza la responsabilidad de las autoridades ambientales y sanitarias de implementar programas de control, supervisión y gestión de calidad de agua potable, articulando acciones conjuntas con el Ministerio de Salud (MINSa), a través de la Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria (DIGESA), para garantizar una protección sanitaria eficaz y sostenible (Ministerio de Salud del Perú [MINSa], (2020).

2.2.2.1. Aplicación del principio precautorio y gestión multisectorial

En su enfoque regulatorio, la legislación peruana se sustenta en el principio precautorio y en el derecho inherente a un entorno saludable y propicio para el crecimiento de todas las formas de vida, reconocidos por la Constitución Política del Perú. Dicho principio exige que ante la presencia o sospecha de



contaminación por metales pesados como el mercurio, las autoridades competentes adopten medidas preventivas, correctivas y sancionatorias, incluso cuando no exista certeza científica absoluta sobre la magnitud del daño MINAM (2025).

Asimismo, el Estado promueve la coordinación multisectorial entre los sectores salud, ambiente y recursos hídricos, con el fin de actualizar los métodos analíticos de detección, fortalecer la capacidad técnica de los laboratorios nacionales y mejorar la gestión integral de las fuentes de suministro de agua Salazar (2022). Estos esfuerzos se complementan con la aplicación del Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, que precisa los procedimientos técnicos y los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos exigibles en la evaluación del recurso hídrico MINAM (2017).

2.2.2.2. Estándares internacionales y fundamentos sanitarios

De acuerdo con la OMS, el límite de 0.001 mg/L de mercurio en agua potable constituye un estándar internacionalmente aceptado, diseñado para minimizar los riesgos de toxicidad aguda y crónica, especialmente en poblaciones vulnerables como niños y mujeres gestantes OMS (2024). La exposición prolongada incluso a concentraciones bajas puede provocar daños en el sistema nervioso central, el sistema renal y el desarrollo neurológico infantil, por lo que se recomienda que los programas de vigilancia epidemiológica nacionales se basen en evidencia científica actualizada y métodos analíticos de alta precisión Salazar (2022); MINSA (2020).

En ese sentido, la normativa peruana no solo busca cumplir con las promesas mundiales realizadas en el Convenio de Minamata sobre el Mercurio, sino también garantizar que las políticas públicas de calidad de agua y salud



ambiental se orienten hacia la prevención, mitigación y El objetivo del MINAM para 2025 es la protección total de la salud humana, la eliminación de la contaminación por metales pesados y la consolidación de un enfoque sostenible para la gestión de los recursos hídricos.

2.2.3. Efectos del mercurio en la salud humana

Uno de los mayores riesgos para la salud pública en América Latina es la exposición al mercurio (Hg), que es particularmente frecuente en las regiones asociadas con la minería artesanal y en pequeña escala (MAPE), el consumo de agua contaminada y la ingestión de peces contaminados. Este metal pesado, en sus formas inorgánica y particularmente orgánica (metilmercurio), produce daños multisistémicos que abarcan desde intoxicaciones agudas y crónicas hasta alteraciones irreversibles en el sistema nervioso central, daño renal, trastornos cardiovasculares, disfunción inmunológica, muerte súbita y malformaciones fetales OMS (2024); OPS (2025); Revistamedicasinergia (2023).

2.2.3.1. Neurotoxicidad y efectos fisiológicos

El mercurio puede atravesar tanto la barrera hematoencefálica como la placentaria, lo que lo convierte en un potente neurotóxico, afectando directamente al sistema nervioso central y periférico. Este metal interfiere con los procesos de neurogénesis, sinapsis y conducción nerviosa, generando déficit cognitivo, alteraciones motoras y conductuales, pérdida de memoria, temblores, insomnio y trastornos emocionales Revistamedicasinergia (2023); Cienclatina (2022).

Los efectos tóxicos son dosis-dependientes y se agravan con la frecuencia y duración de la exposición, siendo los niños, las mujeres en edad fértil y las



gestantes los grupos más vulnerables debido a la sensibilidad de sus sistemas neurológicos en desarrollo OMS (2024); OPS (2025). Según la OMS (2024), la exposición prenatal al metilmercurio puede ocasionar retraso mental, pérdida de coordinación motora y daño cerebral irreversible, incluso a niveles bajos de exposición.

2.2.3.2. Evidencia regional: Andes y Amazonía peruana

En la región andina y amazónica del Perú, especialmente en La Rinconada (Puno) y en las comunidades del Bajo Putumayo y Nanay (Loreto), diversos estudios han confirmado que los niveles de mercurio en el cabello humano superiores a las referencia establecidos por la OMS Mongabay (2025); FZS Perú, 2025; Observatorio de Minería Ilegal, (2025). Estos hallazgos evidencian una biomagnificación significativa derivada del consumo frecuente de peces contaminados y de la exposición ambiental continua en zonas mineras.

En dichas áreas, hasta un 83 % de la población analizada ha presentado valores de exposición considerados de alto riesgo, con manifestaciones clínicas como proteinuria, insuficiencia renal, lesiones dermatológicas, inmunodepresión y alteraciones cardiovasculares Mongabay (2025); Revistamedicasinergia (2023). Estos resultados coinciden con los reportes de FZS Perú (2025), que alertan sobre la magnitud de la contaminación mercurial en comunidades ribereñas amazónicas donde el pescado constituye la base alimentaria y el control sanitario es limitado.

2.2.3.3. Recomendaciones y acciones sanitarias

Tanto la Organización Mundial de la Salud (OMS) como la Organización Panamericana de la Salud (OPS) advierten que la contaminación por mercurio exige un enfoque integral de salud pública y ambiental, orientado a la reducción



de emisiones, la vigilancia epidemiológica activa, la remediación ambiental y la educación comunitaria OMS (2024); OPS (2025).

Estas instituciones recomiendan priorizar la intervención en regiones con exposición crónica comprobada, implementando programas de monitoreo biológico y fortaleciendo las capacidades nacionales en diagnóstico toxicológico y atención médica especializada. Además, se enfatiza que el abordaje debe ser intersectorial, integrando los sectores salud, ambiente, minería y recursos hídricos, con base en evidencia científica nacional y regional actualizada Ciencia (2022); OPS (2025).

El cumplimiento de estas recomendaciones es esencial para detener la progresión de los efectos neurotóxicos, renales y cardiovasculares del mercurio, así como para proteger la salud de las poblaciones más vulnerables de América Latina.

2.2.4. Gestión sanitaria ambiental y tratamiento

La gestión sanitaria ambiental ante la presencia de mercurio en cuerpos de agua requiere una acción multidisciplinaria que articule los campos de la ingeniería ambiental, la vigilancia epidemiológica, la regulación normativa y el desarrollo tecnológico avanzado para la remoción y control de contaminantes. En este contexto, la prevención y remediación comienzan con la toma sistemática y el análisis de muestras de agua, mediante técnicas analíticas como la espectrofotometría, la espectrometría de absorción atómica y la cromatografía de gases, reconocidas por su precisión en la detección y cuantificación de mercurio en matrices hídricas (Sarria-Villa et al., 2020). Estas metodologías son avaladas por organismos internacionales y laboratorios de referencia en América



Latina para garantizar resultados comparables y fiables en el monitoreo de calidad de agua OPS, (2025).

En cuanto a la remoción del mercurio, se dispone de tecnologías de tratamiento altamente eficaces, Algunas de ellas incluyen el intercambio iónico, la adsorción con carbón activado, la precipitación química y la filtración por membrana., electrodiálisis y fotocátalisis, las cuales han demostrado eficiencias de eliminación superiores al 85 % en aguas contaminadas Benítez et al., (2021). Avances recientes incluyen el uso de placas de cobre y de tecnologías de estabilización avanzada como MercLok™, capaces de aislar y reducir significativamente el mercurio total y el metilmercurio en aguas y sedimentos, favoreciendo la rehabilitación de ecosistemas acuáticos y el restablecimiento de la seguridad sanitaria en el abastecimiento humano Albemarle (2024).

En el ámbito latinoamericano, la implementación de estos métodos depende de la coordinación entre la legislación nacional, los instrumentos regulatorios (como los límites máximos permisibles y los planes de emergencia) y la gestión técnica liderada por entidades como DIGESA, OEFA y la ANA, en colaboración con los sistemas de salud regionales MINSA (2020); Defensoría del Pueblo (2025). En el caso peruano, la instalación de plantas de tratamiento compactas, el desarrollo de campañas de sensibilización comunitaria y la ejecución de planes multisectoriales de intervención han mostrado Se observó una disminución de la exposición al mercurio, lo que resultó especialmente beneficioso para las comunidades del Amazonas y los altos Andes Pure (2025).

Finalmente, la vigilancia sanitaria ambiental que comprende tanto la remediación de aguas contaminadas como el diagnóstico clínico temprano de las poblaciones expuestas constituye un pilar esencial para garantizar el derecho



humano al agua potable de calidad, conforme a los lineamientos de la OPS (2025) y la OMS. Este enfoque refuerza la necesidad de una gestión integrada y sostenible que asegure la protección de la salud pública y la preservación de los recursos hídricos frente a la contaminación por mercurio.

2.2.5. Las aguas y su calidad

Aproximadamente el 70 % de la superficie terrestre está cubierta por agua y constituye un elemento esencial para la vida en el planeta. Su disponibilidad y calidad son determinantes para el desarrollo humano, económico y ambiental, pues es utilizada en el consumo doméstico, las actividades agrícolas, industriales y ganaderas PNUMA (2018).

La calidad del agua se define por su capacidad para satisfacer los requerimientos del uso al que se destina. Para que el agua sea considerada apta para el consumo humano, deben evaluarse sus atributos físicos, químicos y biológicos, los cuales influyen directamente en su aceptación, inocuidad y seguridad sanitaria.

Atributos físicos del agua

Los atributos físicos determinan la aceptabilidad del agua por parte de los consumidores e incluyen parámetros como la turbidez, el sabor, el olor y el color. Estos factores, aunque no siempre implican un riesgo sanitario directo, sirven como indicadores cruciales de la degradación medioambiental y la contaminación (Autoridad Nacional del Agua [ANA] (2020).

Propiedades químicas del agua

Las propiedades químicas describen la composición del agua y los posibles compuestos disueltos que pueden representar riesgos para la salud. Entre estos se incluyen metales pesados como el mercurio (Hg), el plomo (Pb) o el arsénico



(As), cuya presencia en concentraciones elevadas puede generar efectos tóxicos agudos o crónicos sobre los sistemas nervioso, renal y cardiovascular ANA (2020); [OMS], (2024).

Características biológicas del agua

Las características biológicas incluyen la existencia o ausencia de gérmenes causantes de enfermedades infecciosas, como coliformes totales y termotolerantes. La detección de estos microorganismos constituye un indicador crítico de contaminación fecal y de la necesidad de tratamiento o desinfección del agua Apaza (2015).

Evaluación y monitoreo de la calidad del agua

El muestreo analítico y los ensayos fisicoquímicos y microbiológicos son herramientas fundamentales para determinar la calidad del recurso hídrico. Sin embargo, la aplicación inadecuada de estos procedimientos puede conllevar graves consecuencias, ya que el consumo de agua contaminada con metales pesados, bacterias u otros agentes tóxicos pone en peligro el bienestar de toda la población Apaza, (2015).

De acuerdo con la UNESCO, (2016), la principal causa de la contaminación del agua a nivel global es el vertido de aguas residuales sin tratamiento en ríos, lagos y océanos, fenómeno que se ha intensificado desde la década de 1990, especialmente en países en desarrollo.

2.2.6. Contaminación por mercurio

El mercurio (Hg) Es un metal pesado que se encuentra en la corteza terrestre como fenómeno natural y puede liberarse al ambiente mediante procesos naturales, como la erosión de rocas o las erupciones volcánicas, así



como por actividades antropogénicas, principalmente la minería aurífera artesanal y a pequeña escala Martínez (2013); Badilla, (2018).

Este elemento se caracteriza por encontrarse en estado líquido a temperatura ambiente, lo que facilita su volatilización y dispersión atmosférica. En el medio ambiente, el mercurio se presenta en tres estados de oxidación principales Quezada (2012):

- **Hg⁰ (mercurio elemental):** forma pura y líquida del metal, altamente volátil.
- **Hg₁⁺ y Hg₂⁺ (mercurio inorgánico):** resultan de la combinación del mercurio con oxígeno, sulfuros u otros elementos. En su estado +1 se encuentra en sales inorgánicas, mientras que en +2 forma compuestos más estables y tóxicos.

En los sistemas hídricos, el mercurio puede transformarse en metilmercurio (CH₃Hg⁺), su forma más tóxica, mediante procesos de metilación bacteriana en ambientes acuáticos con baja oxigenación. Este compuesto se bioacumula en vida marina y se biomagnifica a lo largo de la cadena alimentaria, representando un riesgo para los ecosistemas y la salud humana Badilla (2018).

Entre las fuentes principales de contaminación por mercurio en La minería, la escorrentía superficial y el vertido de aguas residuales de ciudades y granjas tienen un impacto en las masas de agua Torres (2010).

La exposición al mercurio puede provocar múltiples efectos adversos, entre ellos:

- Daños en el sistema nervioso central, con alteraciones neurológicas y cognitivas.
- Enfermedades dermatológicas por contacto o bioacumulación.
- Afectaciones en los pulmones y vías respiratorias.

- Riesgo de cáncer gástrico por exposición crónica (OMS, 2024).

2.2.6.1. Normativa establecida

En el Perú, la normativa sobre calidad del agua se encuentra regulada por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, aprobados mediante el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, que actualiza y amplía lo dispuesto en el Decreto Supremo N.º 002-2008-MINAM. Este marco legal establece Límites máximos permitidos para una serie de características microbiológicas y fisicoquímicas, incluyendo el mercurio total, cuyo valor límite para agua destinada a consumo humano es de 0.001 mg/L, en concordancia con los lineamientos internacionales de la OMS y la OPS (Ministerio del Ambiente [MINAM], (2017).

Para la presente investigación se consideró la Categoría 1: Poblacional y Recreacional, específicamente la Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, correspondiente a los estándares nacionales que garantizan la protección sanitaria y ambiental.

Tabla 2

ECA AGUA – Categoría 1.

Categoría 1: Poblacional y Recreacional				
Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable				
Parámetros FÍSICO-QUÍMICOS				
Parámetro	Unidad de medida	A1 (Desinfección)	A2 (Tratamiento Convencional)	A3 (Tratamiento Avanzado)
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (Color verdadero)	Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	µS/cm	1500	1600	**
DBO ₅	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
DQO	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**



Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes	-	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/L	3	3	**
Amoníaco-N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
pH	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 – 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1000	1000	1500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
Parámetros INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
Parámetros ORGÁNICOS				
Parámetro	Unidad de medida	A1	A2	A3
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C8-C40)	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos (e)	mg/L	1,0	1,0	1,0
Bromoformo	mg/L	0,1	**	**
Cloroformo	mg/L	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodichlorometano	mg/L	0,06	**	**

Nota. ECA

2.3. MARCO CONCEPTUAL

a) Mercurio



Existe mercurio natural, un metal pesado, especialmente en la corteza terrestre. A temperatura ambiente es un líquido plateado y brillante. Puede estar en varias formas, como mercurio metálico, mercurio inorgánico y mercurio orgánico. Este último, especialmente el metilmercurio, es muy peligroso porque se acumula en los organismos y en cadenas alimenticias, afectando gravemente la salud humana y ambiental cuando supera ciertos niveles.

b) Agua para consumo humano

Se refiere al agua tratada o no que está destinada al consumo diario por las personas. Su calidad debe garantizar que no contenga contaminantes en niveles que puedan causar enfermedades o afectar la salud. En el Perú, existen normas específicas que establecen límites seguros para sustancias tóxicas como el mercurio, para evitar riesgos sanitarios.



c) Contaminación por mercurio en agua

Es la presencia de mercurio en el agua en cantidades superiores a las permitidas por la ley. Esta contaminación puede ocurrir de forma natural o, en mayor medida, por actividades humanas como la minería. El mercurio en Existe mercurio natural, un metal pesado porque puede causar daños graves, especialmente cuando se consume durante largos períodos.

d) Monitoreo y análisis de agua

Son los procesos técnicos para tomar muestras de agua y medir con precisión la cantidad de mercurio presente. Para hacerlo se usan métodos especializados como la espectrometría de absorción atómica, que permite detectar el mercurio en muy bajas concentraciones. Luego, los resultados se comparan con los límites legales para determinar si el agua es segura.

e) Manantiales

Un manantial es un punto en el que el agua brota de forma natural del suelo o de entre las rocas. Esto sucede cuando un acuífero se llena y el agua busca una salida hacia la superficie. Generalmente se encuentran en las laderas o bases de los valles. Si se cuidan y conservan bien, pueden aprovecharse como espacios recreativos o incluso turísticos.

f) Contaminante

Un contaminante es cualquier sustancia, especialmente química, que no forma parte natural del suelo o que se encuentra en una cantidad superior a la que debería. Estas sustancias pueden afectar negativamente al medio ambiente y causar daños a la salud de las personas.



g) Estándar de Calidad Ambiental

El Ministerio de Medio Ambiente ha establecido Normas de Calidad Ambiental para limitar la cantidad de contaminantes que pueden estar presentes en el aire, el agua y el suelo. Su función es asegurar que el entorno se mantenga limpio y saludable, usando herramientas modernas de control y evaluación ambiental, además de leyes y normas técnicas para reducir la contaminación.



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Según Hernández et al., (2019). Para describir, explicar y pronosticar acontecimientos, el método cuantitativo se basa en la recopilación sistemática y el análisis estadístico de datos numéricos. Busca la objetividad y la replicabilidad a través de mediciones precisas que permitan validar hipótesis formuladas con un marco teórico sólido. Este enfoque es esencial en ciencias sociales y naturales para generar conocimiento generalizable que se fundamenta en datos empíricos y procesos matemáticos rigurosos.

El estudio se fundamenta en un enfoque cuantitativo, orientado a la medición precisa y objetiva de la concentración de mercurio en el agua para consumo humano en La Rinconada. Este enfoque permite obtener datos empíricos verificables mediante métodos instrumentales, crucial para determinar la calidad de los recursos hídricos y orientar las decisiones en materia de gestión medioambiental.

3.2. TIPO DE LA INVESTIGACIÓN

Según Tamayo (2019). La investigación aplicada se orienta a la resolución práctica de problemas específicos mediante la utilización directa de



conocimientos científicos. Su valor radica en transformar teorías y principios en soluciones innovadoras y funcionales para contextos reales, promoviendo la mejora continua en procesos, productos o políticas. Este tipo de investigación es indispensable para vincular el saber académico con las necesidades sociales y económicas concretas.

Esta investigación tiene carácter aplicado dado que sus resultados buscan contribuir directamente a la solución del problema ambiental detectado, mediante la identificación clara del grado de contaminación y la formulación de recomendaciones técnicas y operativas para su mitigación. Se orienta hacia la transferencia del conocimiento científico a políticas y prácticas de salud pública y saneamiento.

3.3. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

Según Hernández et al., (2019). La investigación descriptiva tiene como objetivo principal detallar con precisión las características, propiedades y circunstancias de un fenómeno o población, sin pretender establecer relaciones causales. Este nivel permite identificar patrones y tendencias a partir de la observación empírica directa, lo que sirve de base para posteriores estudios explicativos o correlacionales más complejos.

Se orienta a un nivel descriptivo, con la finalidad de caracterizar el estado actual del sistema de abastecimiento de agua, identificando la presencia de mercurio y su concentración en puntos clave. Este nivel permite un diagnóstico ambiental basado en evidencia directa, que sustenta planes futuros de acción.

3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Según Hernández et al., (2019). El diseño no experimental se caracteriza por la observación rigurosa de fenómenos en su contexto natural sin



manipulación de variables ni control experimental. Este diseño es adecuado para estudios descriptivos y correlacionales que investigan relaciones entre variables sin intervenir, facilitando la exploración y análisis de situaciones tal como ocurren en la realidad.

Dado que las variables no se controlan, sino que se registran en su forma bruta, la investigación se ajusta al paradigma no experimental. Además, la recopilación y el análisis de datos se realizan en un momento específico, lo que la convierte en transversal, lo que facilita evaluar la situación presente del recurso hídrico sin influencia temporal.

3.5. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

Según Ruiz (2020). La metodología es el núcleo del método científico, lógico y riguroso orientado a la generación de conocimiento verificable. Se trata de elaborar teorías como base para investigaciones o hipótesis, la recolección ordenada de datos, el análisis crítico de la evidencia y la validación o refutación de hipótesis para construir teorías sólidas y objetivas. Este método garantiza la confiabilidad y reproducibilidad de los resultados en la investigación científica.

Se aplica el método científico con el rigor que exige la investigación ambiental: formulación del problema, hipótesis, planificación del muestreo según criterios técnicos, recolección bajo protocolos estandarizados, análisis instrumental en laboratorio certificado y comparación con estándares normativos nacionales ECA (DS N° 004-2017-MINAM) y recomendaciones internacionales OMS. La metodología asegura la validez y reproducibilidad de los resultados.

3.6. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.6.1. Población



Según Hernandez et al., (2020, pág. 165) la población es el conjunto completo de elementos o individuos que poseen características en común y que son el objeto de estudio en una investigación. La población es a quien se busca generalizar los resultados.

La población de estudio corresponde a todos los habitantes que consumen agua bombeada al centro de la ciudad por el sistema de distribución La Rinconada, Puno.

3.6.2. Muestra

Según Hernandez et al., (2020, pág. 173). describen la muestra como un subconjunto de la población. Este grupo es seleccionado de manera que sus características sean representativas de la población, permitiendo que los resultados obtenidos se generalicen con cierta confianza.

La muestra estuvo conformada por nueve ejemplares de agua recolectadas en tres puntos clave del sistema: viviendas (M1-V, M2-V, M3-V), reservorios (M4-R, M5-R, M6-R) y fuente natural (nevado Riti Pata, M7-N, M8-N, M9-N). Cada muestra fue seleccionada considerando representatividad y relevancia para el control ambiental.

3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.7.1. Técnicas de recolección de datos

La estrategia de muestreo utilizada fue el muestreo directo in situ, orientado a garantizar la representatividad y confiabilidad del diagnóstico ambiental del sistema de abastecimiento de agua potable. Para ello, se seleccionaron tres tipos de puntos críticos en la red:

- Viviendas de consumo final, donde se evalúa el agua en contacto directo con los consumidores.



- Reservorios de almacenamiento, identificados como intermediarios claves capaces de ser afectados por procesos de acumulación y contaminación secundaria.
- Fuente natural de captación en el nevado Riti Pata, referencia fundamental para establecer la calidad original del recurso hídrico.

La selección de estos puntos se realizó mediante criterios técnicos basados en la relevancia sanitaria, la vulnerabilidad identificada en la red y la operatividad logística, en coordinación con autoridades y responsable técnico local.

Antes de la recolección de cada muestra, se efectuó una limpieza superficial del área de salida de agua y se dejó correr el agua durante al menos 30 segundos. Esto permitió la eliminación de potenciales residuos, partículas e incrustaciones provenientes de tuberías o accesorios, minimizando el sesgo y la contaminación cruzada en la medición del mercurio.

- El proceso incluyó prácticas rigurosas de bioseguridad y calidad, avaladas por la normativa nacional del Ministerio del Ambiente y recomendaciones internacionales (OMS):
 - El responsable del muestreo empleó guantes de látex, mascarilla, gorro y guardapolvo desechable, asegurando así un ambiente controlado y estéril.
 - Los frascos plásticos esterilizados (500 ml) se enjuagaron previamente con agua del propio punto de muestreo, siguiendo procedimientos de triple enjuague, técnica recomendada para reducir contaminación cruzada.
 - La obtención de la muestra se realizó por vertido directo, procurando que el flujo de agua llenara el recipiente sin contacto con superficies externas ni con las manos del técnico.



Cada muestra recolectada fue rotulada in situ, mediante un sistema de codificación que incluyó la fecha, hora exacta de muestreo, punto georreferenciado, responsable y condiciones ambientales observadas. Se completó una ficha técnica individual, registrando cualquier incidente, observación relevante o parámetro físico perceptible (color, olor, turbidez).

Para preservar la integridad de la muestra y asegurar la estabilidad del compuesto analizado, se adicionó ácido nítrico al frasco inmediatamente después de la recolección, siguiendo la dosis recomendada por normas analíticas internacionales (Standard Methods, EPA 1311). La conservación y transporte se realizaron con cadena de frío, usando coolers isotérmicos y control térmico digital, hasta su ingreso en el laboratorio especializado donde se realizó el análisis instrumental.

El flujo operativo se diseñó de manera que todas las fases del proceso fueran trazables y auditables, garantizando replicabilidad, control de calidad y apego a los requisitos técnicos del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM y del laboratorio certificador.

3.7.2. Instrumentos de recolección de datos

La recolección de muestras se realizó empleando frascos plásticos esterilizados, de cuerpo y tapa roscables, con capacidad nominal de 500 ml, certificados según la Norma Técnica Peruana NTP 214.060 (2016), que garantiza la ausencia de metales pesados y agentes reactivos en el material del envase. Cada frasco fue identificado mediante un sistema de rotulado que incluía código único, fecha y hora exacta de la toma, responsable, localización georreferenciada en coordenadas UTM y observaciones técnicas relevantes. El proceso operativo siguió el procedimiento operativo estándar de este país para



la recogida de muestras de agua destinadas al consumo humano (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM).

Como preservante, se adicionó exactamente 1 ml de ácido nítrico (HNO_3) concentrado tras la recolección, procedimiento recomendado por la EPA y la OMS para estabilizar especies de mercurio y evitar su precipitación, absorción o degradación durante el transporte y almacenamiento en condiciones variables de temperatura. El ácido nítrico genera un pH ácido que ayuda a disolver cualquier posible partícula adherente y mantiene el mercurio en solución, mejorando la exactitud del análisis.

Todas las muestras fueron almacenadas inmediatamente en coolers isotérmicos, con acumuladores de frío y registradores digitales de temperatura, asegurando un transporte controlado por debajo de 4 °C hasta el laboratorio certificado. Se evitó la exposición a luz solar directa, fuentes de calor y vibraciones, factores que pueden alterar la integridad fisicoquímica del mercurio y condicionar la fiabilidad del resultado final.

El análisis instrumental en laboratorio se desarrolló empleando tecnologías de vanguardia, seleccionadas por su precisión y capacidad de detección de trazas:

- **Espectrometría de absorción atómica (AAS) con generación de vapor frío (CVAAS):** Método que permite la cuantificación de mercurio total en matriz líquida con límites de detección inferiores a 0.001 mg/L; validada internacionalmente para aguas de consumo.
- **Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS):** Técnica avanzada de alta sensibilidad, capaz de detectar concentraciones inferiores al límite normativo (0.001 mg/L), con excelente

selectividad y reproducibilidad. Reconocida por la Directiva (UE) 2015/1787 y protocolos de validación de la OMS.

El instrumental se calibró con patrones certificados de mercurio y controles internos, siguiendo protocolos de laboratorios acreditados. Los análisis se documentaron en fichas técnicas y registros automáticos, asegurando trazabilidad y cumplimiento de estándares internacionales. Los métodos permiten detectar mercurio por debajo de los límites establecidos por la normativa nacional (DS N° 004-2017-MINAM) e internacional (OMS), garantizando la protección sanitaria y la fiabilidad de los resultados.

3.8. PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.

El proceso se estructuró en cinco fases secuenciales, cada una diseñada para garantizar la calidad, representatividad y trazabilidad de las muestras de agua analizadas por mercurio en el centro poblado La Rinconada.

MUESTREO P-1

Figura 1

Recolección de la muestra – primer punto.



PUNTO 1: VIVIENDAS

Este punto de muestreo corresponde a diversas viviendas situadas en zonas clave de La Rinconada, donde el agua se utiliza directamente para la preparación de alimentos, higiene personal y otros usos domésticos. Las viviendas fueron seleccionadas por su alta ocupación y la relevancia del agua en la vida diaria de los residentes. Los puntos de muestreo específicos dentro de este grupo incluyen M1-V, M2-V y M3-V, que representan un microcosmos del consumo de agua en las viviendas de la comunidad. Este punto es fundamental porque permite evaluar la calidad del agua tal como se recibe y usa en los hogares, un factor determinante para la salud pública. La toma de muestras en estos puntos permite analizar la presencia de contaminantes, como el mercurio, que puedan afectar directamente la salud de los habitantes.

MUESTREO P-2

Figura 2

Recolección de la muestra – segundo punto.



PUNTO 2: RESERVORIOS

Los reservorios son instalaciones diseñadas para almacenar el agua antes de su distribución a las viviendas. En este caso, los puntos de muestreo M4-R, M5-R y M6-R fueron seleccionados debido a su rol central en el sistema de abastecimiento, ya que representan etapas previas al consumo final del agua. La calidad del agua en estos reservorios es crucial para garantizar que el agua distribuida a los hogares mantenga los estándares sanitarios. Los reservorios pueden ser puntos críticos en cuanto a la proliferación de contaminantes, especialmente si no se mantienen adecuadamente. El análisis en estos puntos permite determinar si el agua ha sufrido alteraciones significativas en su calidad antes de ser distribuida a las viviendas.

MUESTREO P-3

Figura 3

Recolección de la muestra – tercer punto.



PUNTO 3: FUENTE NATURAL (NEVADO RITI PATA)

La fuente natural de agua, representada por el Nevado Riti Pata, es el origen del sistema de abastecimiento de agua para la comunidad de La



Rinconada. Los puntos de muestreo M7-N, M8-N y M9-N fueron seleccionados en esta zona debido a que representan el agua en su estado más puro, antes de ser procesada o distribuida. Este punto de muestreo es esencial porque permite establecer un parámetro de referencia de la calidad del agua desde su fuente original. El análisis de agua en la fuente natural ayuda a identificar cualquier contaminación inicial o alteración que pueda ocurrir a lo largo del proceso de captación y distribución. Además, la calidad del agua en este punto es fundamental para comprender cómo la naturaleza provee este recurso a la comunidad, y cómo, a través del sistema de distribución, se puede preservar o deteriorar su calidad.

3.8.1. Desarrollo de plan de investigación

Fase 1: Planificación y coordinación técnica

- Revisión documental y análisis preliminar del sistema de abastecimiento de agua, identificando puntos críticos susceptibles de contaminación y rutas de distribución.
- Coordinación con autoridades locales, gestores sanitarios y técnicos ambientales para validación de sitios de muestreo (viviendas, reservorios y fuente natural).
- Elaboración del cronograma operativo, asignación de responsabilidades y adquisición de materiales certificados (frascos esterilizados, conservantes, equipos de protección personal).
- Capacitación del equipo de campo en protocolos de bioseguridad, normativas del DS N° 004-2017-MINAM y guías internacionales de muestreo ambiental.



Fase 2: Inspección y preparación de puntos de muestreo

- Desplazamiento al área seleccionada en fechas predeterminadas, registrando condiciones ambientales, actividades humanas cercanas y factores que pudieran influir en la calidad del agua.
- Limpieza exhaustiva de grifos, válvulas o salidas de agua, desinfección externa con hipoclorito de sodio al 0,1% y enjuague posterior con agua destilada.
- Verificación del correcto funcionamiento del punto, descartando presencia de fugas, obstrucciones o evidencias de manipulación.

Fase 3: Toma y preservación de muestras

- Dejar correr el agua entre 30 y 60 segundos para eliminación de residuos de tubería y obtener una muestra representativa.
- Recolección del agua en frascos plásticos estériles de 500 ml, efectuando triple enjuague previo del envase con la misma agua a muestrear.
- Rellenar el recipiente por vertido directo, evitando contacto entre la boca del frasco y manos, superficies externas u objetos no estériles.
- Adición inmediata de 1 ml de ácido nítrico a cada muestra, como preservante para mercurio, asegurando la estabilidad química del analito durante el traslado.

Fase 4: Registro, rotulación y documentación técnica

- Rotulado de cada frasco in situ con etiquetas inviolables, consignando código, fecha/hora, ubicación georreferenciada (coordenadas UTM), responsable, condiciones ambientales, características físicas observadas y observaciones relevantes.



- Completar ficha técnica individual por muestra, sumando información sobre el procedimiento seguido, incidencias y actores involucrados.
- Implementación de cadena de custodia firmada por el responsable de campo, autoridad sanitaria y receptor en laboratorio, asegurando trazabilidad y cumplimiento legal.

Fase 5: Conservación, transporte y control de calidad

- Las muestras fueron almacenadas en coolers isotérmicos, con acumuladores de frío y monitoreo digital de temperatura ($<4^{\circ}\text{C}$), desde el momento de recolección hasta la entrega en laboratorio acreditado en Juliaca.
- Minimización del tiempo de exposición ambiental, evitando luz solar directa, vibraciones, o cambios bruscos que pudieran alterar la muestra.
- Recolección de una contramuestra por punto, conservada en iguales condiciones para auditorías, controles de calidad o análisis confirmatorio.
- Recibo y verificación en laboratorio, validación de registro y procesamiento conforme a protocolo analítico nacional e internacional (SMEWW, EPA).

3.9. PROCESAMIENTO DE DATOS

Las muestras, una vez recibidas en el laboratorio, fueron sometidas a análisis instrumental según el método espectrométrico SM 3500-Hg (AAS/ICP-MS). Se registró la concentración de mercurio en mg/L para cada muestra recolectada. Los resultados obtenidos se documentaron en tablas, permitiendo la comparación directa con los ECA (DS N° 004-2017-MINAM) y los valores recomendados por la OMS.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Concentración de mercurio en el agua potable

Se recolectaron y analizaron nueve muestras que representan los tres puntos estratégicos del sistema:

Punto 1: Viviendas

- M1–V
- M2–V
- M3–V

Punto 2: Reservorios

- M4–R
- M5–R
- M6–R

Punto 3: Fuente natural (Nevado Riti Pata)

- M7–N
- M8–N
- M9–N



El objetivo principal de esta investigación es examinar el suministro de agua potable de la comunidad de La Rinconada, ubicada en la región Puno. Con el objetivo de obtener una visión integral de la situación, se realizó un muestreo en tres puntos estratégicos del sistema de abastecimiento de agua, seleccionados por su relevancia en la cadena de distribución y el uso final del recurso.

El primer punto de muestreo abarca las viviendas, áreas en las que el agua se utiliza directamente para la preparación de alimentos y consumo diario. El segundo punto incluye los reservorios, encargados de almacenar el agua antes de su distribución. Finalmente, el tercer punto corresponde a la fuente natural, el Nevado Riti Pata, considerado el origen de todo el sistema de abastecimiento de agua.

Cada uno de estos puntos fue elegido con el fin de representar distintas etapas en el proceso de distribución, desde su fuente hasta su uso en los hogares, permitiendo así un análisis completo de la calidad del agua y su aptitud para consumo humano.



PUNTO 1

Tabla 3

Primer punto de muestreo en viviendas.

CÓDIGO	CLASIFICACIÓN GRUPO	SUBGRUPO	UBICACIÓN	FRASCO V	FRASCO P
M1-V	AN	G	E: 451975.502 N: 8382051.901		X
M2-V	AN	<G	E: 451975.502 N: 8382051.901		X
M3-V	AN	G	E: 451975.502 N: 8382051.901		X

Se muestra la clasificación y ubicación geográfica de los tres primeros puntos de muestreo realizados en viviendas, identificados como M1-V, M2-V y M3-V. Cada muestra corresponde al grupo AN y subgrupo G, todos con coordenadas similares en el sistema UTM. Las muestras fueron recolectadas correctamente en frascos tipo V, de acuerdo a los requisitos del protocolo técnico.

Tabla 4

Descripción de los puntos de muestreo en reservorios.

CÓDIGO	CLASIFICACIÓN GRUPO	SUBGRUPO	UBICACIÓN	FRASCO V	FRASCO P
M1-V	AN	G	E: 451973.011 N: 8382161.941		X
M2-V	AN	G	E: 451973.011 N: 8382161.941		X
M3-V	AN	G	E: 451973.011 N: 8382161.941		X

Se presenta la descripción técnica de los puntos de muestreo en los reservorios, identificados como M1-V, M2-V y M3-V, todos clasificados dentro



del grupo AN y subgrupo G. Cada muestra indica coordenadas UTM precisas y la colección fue realizada en frascos tipo V, asegurando el cumplimiento de los requisitos de manipulación y registro técnico para el análisis de mercurio.

Tabla 5

Descripción de los puntos de muestreo en fuente Natural.

CÓDIGO	CLASIFICACIÓN		UBICACIÓN	FRASCO V	FRASCO P
	GRUPO	SUBGRUPO			
M1-V	AN	G	E: 452522.835		X
			N: 8383687.82		
M2-V	AN	G	E: 452522.835		X
			N: 8383687.82		
M3-V	AN	G	E: 452522.835		X
			N: 8383687.82		

Se presenta la descripción de los puntos de muestra en la fuente natural, identificados como M1-V, M2-V y M3-V, todos pertenecientes al grupo AN y subgrupo G. Cada muestra fue obtenida en las mismas coordenadas UTM y recolectada en frascos tipo V, siguiendo los estándares técnicos de muestras para el análisis de mercurio en agua.

Tabla 6

Concentración de mercurio - Viviendas (consumo final).

Código de muestra	Ubicación	Concentración de Hg (mg/L)	Fecha/Hora
M1-V	Vivienda	0.0032	10/01/2025, 12:12 p.m.
M2-V	Vivienda	0.0028	10/01/2025, 12:16 p.m.
M3-V	Vivienda	0.0023	10/01/2025, 12:30 p.m.



Se detectaron las mayores concentraciones de mercurio, todas superiores a 0.002 mg/L y hasta 0.0032 mg/L. Este rango excede ampliamente los límites recomendados Según las normas establecidas por los gobiernos de todo el mundo para consumo humano seguro. La persistencia de valores elevados en viviendas señala un fuerte riesgo sanitario y sugiere problemas en la etapa final del sistema de abastecimiento, como contaminación en tuberías, tanques domésticos o fugas en la red.

Tabla 7

Concentración de mercurio - Reservorios (almacenamiento intermedio).

Código de muestra	de Ubicación	Concentración de Hg (mg/L)	de Fecha/Hora
M4-R	Reservorio	0.0015	10/01/2025, 14:59 p.m.
M5-R	Reservorio	0.0012	10/01/2025, 14:56 p.m.
M6-R	Reservorio	0.0013	10/01/2025, 15:00 p.m.

Las concentraciones se ubicaron en el rango entre 0.0012 y 0.0015 mg/L, valores intermedios que aun superan los estándares para agua solo desinfectada, pero en ciertos casos podrían ser tratados para cumplir con límites establecidos si se emplean tecnologías convencionales o avanzadas. La comparación con viviendas muestra una leve atenuación del mercurio, atribuible posiblemente a procesos de decantación o dilución en el reservorio.



Tabla 8

Concentración de mercurio - Fuente natural (captación del nevado).

Código de muestra	de Ubicación	Concentración de Hg (mg/L)	de Fecha/Hora
M7-N	Nevado Riti Pata	≤0.001	10/01/2025, 13:58 p.m.
M8-N	Nevado Riti Pata	≤0.001	10/01/2025, 13:56 p.m.
M9-N	Nevado Riti Pata	≤0.001	10/01/2025, 14:00 p.m.

En este punto, todas las muestras reportaron niveles de mercurio por debajo o en el límite de detección (≤0.001 mg/L), indicando buena calidad del agua en su origen. Este dato afirma que la contaminación se produce en el trayecto del agua hacia su destino final, y no en la fuente natural de captación.

Tabla 9

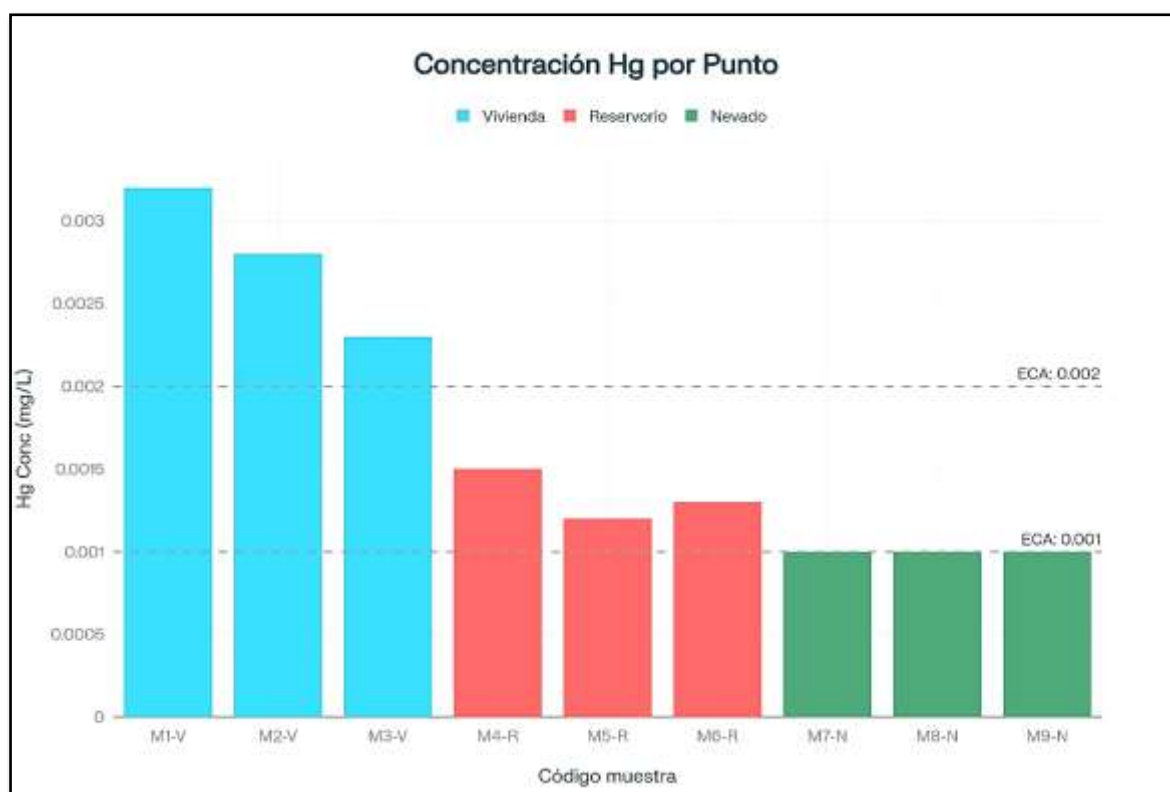
Resumen de concentración de mercurio.

Código de muestra	Ubicación	Concentración de Hg (mg/L)
M1-V	Vivienda	0.0032
M2-V	Vivienda	0.0028
M3-V	Vivienda	0.0023
M4-R	Reservorio	0.0015
M5-R	Reservorio	0.0012
M6-R	Reservorio	0.0013
M7-N	Nevado Riti Pata	≤0.001
M8-N	Nevado Riti Pata	≤0.001
M9-N	Nevado Riti Pata	≤0.001

Se presenta los valores de concentración de mercurio detectados en los distintos puntos del sistema de abastecimiento de agua, desde la fuente natural hasta el consumo en viviendas. Se observa un aumento progresivo del mercurio conforme avanza el agua a través del sistema, alcanzando los valores más altos en las muestras domiciliarias. Este patrón evidencia la necesidad de intervención para prevenir riesgos sanitarios y garantizar la seguridad del agua.

Figura 4

Concentración de mercurio por punto.



Se muestra la concentración de mercurio (Hg) en mg/L recolectada en tres tipos de puntos del sistema de abastecimiento: viviendas, reservorios y fuente natural (nevado). Se observa que las concentraciones en viviendas son superiores a los reservorios y que estos, a su vez, superan ligeramente los niveles encontrados en la fuente natural. Además, están indicados los límites



máximos permitidos por la norma (ECA 0.001 y 0.002 mg/L), evidenciando que las viviendas superan ambos límites.

Tabla 10

Cumplimiento normativo de mercurio por segmento del sistema de agua.

Segmento	Promedio Hg (mg/L)	Rango observado (mg/L)	Cumplimiento normativo
Viviendas	0.00276	0.0023–0.0032	No cumple (ningún tipo de tratamiento)
Reservorios	0.00133	0.0012–0.0015	Cumple parcialmente (conv./avanz.)
Fuente/nevado	≤0.001	≤0.001	Cumple (todos los estándares)

El valor más elevado y el mayor riesgo para la salud de la población se concentra en las viviendas, lo que demanda atención inmediata. La calidad del agua se degrada progresivamente a lo largo de la cadena del sistema de abastecimiento. El origen del agua en el nevado presenta condiciones óptimas, lo que reafirma la importancia de fortalecer el mantenimiento, vigilancia y tratamiento en las zonas de distribución y almacenamiento.

4.1.2. Comparación de la concentración de mercurio con los estándares de calidad ambiental.

Para determinar si el agua es apta para el consumo y si el mercurio supone algún riesgo para la salud, se deben considerar los límites establecidos por la normativa peruana. El Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM define los



Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para mercurio en agua potable, con valores diferenciados según el tipo de tratamiento.

Tabla 11

Estándares nacionales de calidad para mercurio en agua potable.

Tipo de tratamiento de agua	Límite permitido Mercurio (mg/L)
A1: Sólo desinfección	0.001
A2: Tratamiento convencional	0.002
A3: Tratamiento avanzado	0.002

Se presenta los límites máximos permitidos de mercurio para agua potable según DS N° 004-2017-MINAM, diferenciando tres tipos de tratamiento del agua: solo desinfección, convencional y avanzado. Se especifica que el valor permitido es 0.001 mg/L para desinfección y 0.002 mg/L para tratamientos convencionales o avanzados. Esta información es esencial para comparar los resultados analíticos del sistema de abastecimiento con la normativa nacional vigente.

Tabla 12

Cumplimiento normativo en viviendas.

Punto de muestreo	Concentración Observada (mg/L)	A1 Cumple?	A2 Cumple?	A3 Cumple?
M1-V (vivienda)	0.0032	No	No	No
M2-V (vivienda)	0.0028	No	No	No
M3-V (vivienda)	0.0023	No	No	No



Todas las muestras de las viviendas exceden los valores máximos permitidos para los tres tipos de tratamiento, Por lo tanto, el agua suministrada no es apta para el consumo humano hasta que se elimine el mercurio, independientemente de cualquier proceso de tratamiento aplicado. Esto representa un alto riesgo sanitario para los consumidores finales.

Tabla 13

Cumplimiento normativo en reservorios.

Punto de muestreo	Concentración Observada (mg/L)	A1 Cumple?	A2 Cumple?	A3 Cumple?
M4-R (reservorio)	0.0015	No	Sí	Sí
M5-R (reservorio)	0.0012	No	Sí	Sí
M6-R (reservorio)	0.0013	No	Sí	Sí

En los reservorios, la concentración sobrepasa el límite de agua que solo requiere desinfección (A1), pero estaría dentro de lo permitido para aguas que se someten a tratamientos convencionales o avanzados (A2 y A3). Por ello, sería posible que en estas etapas la contaminación se controlara con procesos de mejora técnica.

Tabla 14*Cumplimiento normativo en fuente natural.*

Punto de muestreo	Concentración Observada (mg/L)	A1 Cumple?	A2 Cumple?	A3 Cumple?
M7-N (Fuente)	≤0.001	Sí	Sí	Sí
M8-N (Fuente)	≤0.001	Sí	Sí	Sí
M9-N (Fuente)	≤0.001	Sí	Sí	Sí

En el punto de captación natural, los valores de mercurio son iguales o inferiores al límite de detección, cumpliendo estrictamente la normativa peruana en todas las categorías y siendo apta para consumo y tratamiento.

Tabla 15*Resumen comparativa de resultados y cumplimiento normativo.*

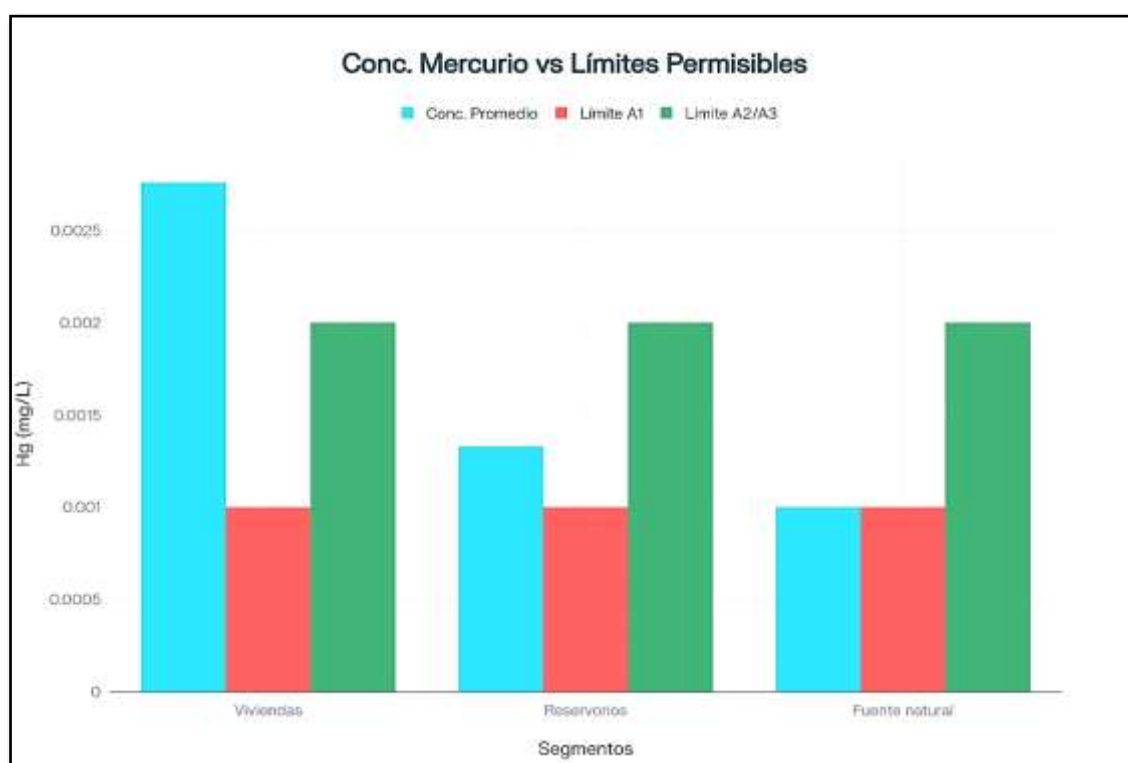
Punto de muestreo	Concentración Observada (mg/L)	A1 Cumple?	A2 Cumple?	A3 Cumple?
M1-V (vivienda)	0.0032	No	No	No
M2-V (vivienda)	0.0028	No	No	No
M3-V (vivienda)	0.0023	No	No	No
M4-R (reservorio)	0.0015	No	Sí	Sí
M5-R (reservorio)	0.0012	No	Sí	Sí
M6-R (reservorio)	0.0013	No	Sí	Sí
M7-N (Fuente)	≤0.001	Sí	Sí	Sí
M8-N (Fuente)	≤0.001	Sí	Sí	Sí
M9-N (Fuente)	≤0.001	Sí	Sí	Sí

Se presenta la comparación entre la concentración de mercurio observada en distintas muestras del sistema de agua y el cumplimiento de los estándares

normativos para los tres tipos de tratamiento (A1, A2, A3). Se evidencia que ninguna muestra de vivienda cumple con los límites permitidos, los reservorios sólo cumplen bajo tratamientos convencionales o avanzados, y la fuente natural cumple plenamente con todos los estándares. Esto resalta los puntos críticos de incumplimiento sanitario en el sistema evaluado.

Figura 5

Comparativa de resultados con la normativa.



Se compara el promedio de las concentraciones de mercurio halladas en cada segmento del sistema (viviendas, reservorios, fuente natural) frente a los LMP establecidos por la normativa nacional para A1 y A2/A3. Se observa que solo el agua de la fuente natural se encuentra dentro de los límites, mientras que viviendas y reservorios superan, en mayor o menor grado, los valores normativos. Esto evidencia un incumplimiento progresivo en la cadena de satisfacción.

Tabla 16*Síntesis y visualización normativa.*

Segmento del sistema	Promedio (mg/L)	Hg Cumple A1	Cumple A2/A3	Riesgo sanitario
Viviendas	0.00276	No	No	Alto
Reservorios	0.00133	No	Sí	Moderado
Fuente/nevado	≤ 0.001	Sí	Sí	Bajo

Los datos confirman que la fuente natural es segura y que el riesgo aumenta de manera significativa en los puntos de uso domiciliario, por acumulación o contaminación secundaria en la red y reservorios. El incumplimiento normativo en viviendas y, parcialmente, en reservorios exige acciones urgentes de tratamiento, control y vigilancia para garantizar la aptitud sanitaria del agua distribuida a la población.

4.1.3. Recomendaciones para mitigar riesgos por agua contaminada con mercurio.

Dado el incremento progresivo de mercurio desde la fuente natural hasta la vivienda, el análisis evidenció los siguientes niveles de riesgo:

Tabla 17*Diagnóstico de riesgos según concentración y punto crítico.*

Punto en el sistema	Promedio (mg/L)	Hg concentración	Nivel de riesgo sanitario
Fuente natural	≤ 0.001		Bajo riesgo
Reservorios	0.00133		Riesgo moderado
Viviendas	0.00276		Alto riesgo

Se observa que el nivel de riesgo incrementa desde la fuente natural (bajo riesgo) hacia las viviendas (alto riesgo), siendo los reservorios una etapa intermedia con riesgo moderado. Esto evidencia la importancia de controlar la contaminación durante el transporte y almacenamiento del agua.

Tabla 18

Medidas recomendadas para mitigación.

Área	Recomendaciones específicas	Justificación
Viviendas	- Suspender consumo directo de agua sin tratamiento previo.	Concentración supera límites permisibles, alto riesgo para salud.
	- Instalación de sistemas de tratamiento domiciliario específicos para mercurio (como filtros de carbón activado, resinas de intercambio iónico).	Permite eliminar concentraciones elevadas en consumo final.
	- Campañas educativas para informar a la comunidad sobre los riesgos del mercurio y fomentar buenas prácticas.	Aumenta conciencia y reduce exposición.
Reservorios	- Implementar y optimizar tratamientos convencionales y avanzados de remoción de mercurio, revisando frecuencias y parámetros operativos.	Reduce niveles antes de distribución, protege a población.
	- Monitoreo continuo de calidad del agua y mantenimiento riguroso de infraestructura.	Permite detección temprana y corrección de fallas.
Fuente natural	- Mantener vigilancia ambiental estricta para preservar calidad del recurso.	Evitar contaminación.
	- Limitar actividades contaminantes cercanas y controlar accesos.	Protege fuente hídrica.
Coordinación y normatividad	- Fortalecer colaboración interinstitucional entre autoridades sanitarias, ambientales y comunitarias.	Garantiza aplicación de políticas integrales.
	- Actualizar y aplicar regulación local para remoción de metales pesados.	Necesaria para exigir controles efectivos.

Se presenta recomendaciones técnicas específicas para cada etapa del sistema de abastecimiento (viviendas, reservorios, fuente natural y gestión), justificando cada acción según el nivel de riesgo y la causa identificada. Este enfoque integral facilita la implementación de medidas de mitigación para eliminar el mercurio y proteger la salud pública. La estructuración por área permite dirigir intervenciones focalizadas y coordinar la gestión interinstitucional.

Tabla 19

Resumen de estado y acciones prioritarias.

Sector	Estado actual	Acción propuesta	Prioridad
Viviendas	Contaminación alta	Suspensión inmediata de consumo y filtros especializados	Muy alta
Reservorios	Contaminación moderada	Mejoras en tratamientos y monitoreo	Alta
Fuente natural	Contaminación mínima	Protección ambiental rigurosa	Media
Gestión y política	Débil coordinación	Fortalecer intersectorialidad y actualización normativa	Alta

La concentración creciente de mercurio revela contaminaciones adquiridas durante el transporte y almacenamiento, posiblemente relacionadas con tuberías obsoletas, pérdidas y fuentes de aporte contaminante secundario. El incumplimiento de límites en viviendas, donde se produce el consumo, realza la vulnerabilidad de la población y la urgencia de intervenciones técnicas y sociales. La protección de la fuente y el control riguroso en reservorios son pilares para



evitar nuevas cargas. La participación activa de autoridades y comunidad es vital para el éxito de las acciones propuestas.

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Mamani (2024) encontró valores extremadamente altos de mercurio aguas abajo de Ananea (entre 0.0023 y 0.0045 mg/L), con patrones decrecientes a medida que el punto de muestreo se alejaba de la ciudad, sugiriendo una clara medición entre actividad antrópica urbana–minera y niveles de contaminación. En La Rinconada, el presente trabajo identificó concentraciones similares en los puntos finales de consumo (viviendas: 0.0023–0.0032 mg/L), lo que corrobora la tendencia reportada en zonas mineras altoandinas, donde las actividades auríferas y el inadecuado manejo de residuos generan un aporte significativo de mercurio a los cuerpos de agua.

El riesgo sanitario reportado por Mamani también se evidencia en La Rinconada, donde el mercurio supera ampliamente los estándares establecidos y supone una amenaza acumulativa para los habitantes, dado el potencial tóxico de este metal en exposición crónica. Esta situación refuerza la alerta sobre la necesidad perentoria de acciones de monitoreo y control un llamado que se repite en la literatura revisada y se encuentra eco directo en los resultados de esta investigación.

El caso de Tipo (2024) en Oruro, aunque se centra más en aspectos microbiológicos y físico-químicos, resalta un punto crítico adicional: la importancia de mantener el sistema de abastecimiento en óptimo estado. La presente tesis encontró que, aunque la fuente natural presenta baja carga contaminante, la degradación de la calidad del agua ocurre principalmente en el tramo de almacenamiento y distribución. Tal como en Oruro, donde fallas



técnicas facilitan la contaminación microbiológica, en La Rinconada los problemas de infraestructura y posible recontaminación inciden directamente en los niveles de mercurio en el agua que finalmente recibe la población.

En cuanto a contexto regional, el trabajo de Vilca (2022) quien reportó valores insignificantes de mercurio en el río Lampa que no superan los límites normativos contrasta directamente con la situación de La Rinconada y Ananea, sugiriendo que la problemática no es exclusiva de la cuenca de alta montaña, sino que obedece a factores locales como intensidad minera, precariedad en gestión ambiental y carencias regulatorias efectivas. Las recomendaciones de Vilca Quispe sobre monitoreo permanente y conservación hídrica coinciden plenamente con las necesidades detectadas en el presente estudio.

Por otro lado, Callizana (2025), quien evaluó la calidad físico-química en aguas subterráneas, encontró en generales valores aceptables excepto en sulfatos, señalando que una sola variable por fuera del rango afecta la potabilidad del recurso. Esto resalta la importancia de controlar meticulosamente los distintos parámetros en toda la red de abastecimiento — especialmente en entornos cuya población depende críticamente del agua local, como es el caso en La Rinconada.

Contexto propio y análisis regional.

A diferencia de otros centros poblados presentados en los antecedentes, La Rinconada enfrenta una de las mayores presiones ambientales por minería informal, como quedó corroborado en informes y artículos recientes. La falta de tratamiento adecuado de residuos mineros y la carencia de infraestructura para la disposición final de desechos tóxicos incluido el mercurio amplifica los efectos adversos en la salud humana y en los ecosistemas acuáticos.



El presente estudio, al igual que los reportes de Velásquez (2023) y análisis del MINAM recogidos por la prensa y literatura especializada, evidencia que entre el agua que entra al sistema (en la fuente natural) y la que llega a las viviendas existe un deterioro atribuible a procesos secundarios en reservorios y redes de distribución. Este deterioro progresivo explica el incremento de mercurio observado y justifica la urgencia en reforzar el monitoreo técnico, la inversión en tratamientos específicos y la educación para la población.

Concordancia normativa y perspectivas

Comparando los resultados con el DS N° 004-2017-MINAM y los antecedentes, se constata que los valores detectados en viviendas (0.0023–0.0032 mg/L) superan los límites para agua potable en todas las categorías y evidencian un incumplimiento crónico del marco normativo nacional problemática ya advertida por repetidos estudios previos en la región y reconocidos por autoridades sanitarias y ambientales. Los reservorios, si bien muestran concentraciones menores, también requieren intervención, y la fuente natural es el único punto donde la calidad cumple con los parámetros.

En síntesis, la discusión de estos resultados confirma el carácter multifactorial y persistente de la contaminación por mercurio en sistemas de suministro del sur del Perú. Coincide con antecedentes en la recomendación urgente de medidas de control, remediación y prevención que involucren tanto a autoridades como a la sociedad civil y los sectores productivos, priorizando la salud pública y la sostenibilidad ambiental.



CONCLUSIONES

- PRIMERA:** La evaluación de mercurio en el agua de La Rinconada mostró contaminación progresiva desde la fuente hasta las viviendas. Los niveles en las viviendas superan los límites permitidos, representando un riesgo para la salud. La fuente natural es segura, lo que confirma que la contaminación ocurre en el almacenamiento y distribución, lo que requiere medidas urgentes de mitigación.
- SEGUNDA:** Se calcula la concentración de mercurio en tres niveles del sistema de abastecimiento: fuente natural, reservorios y viviendas. Los valores de mercurio fueron mínimos y cumplieron las normas en la fuente natural (≤ 0.001 mg/L), tuvieron valores intermedios en los reservorios (0.0012 a 0.0015 mg/L) y alcanzaron niveles significativamente altos en las viviendas (0.0023 a 0.0032 mg/L). Esta progresión confirma que la contaminación se incrementa conforme el agua avanza hacia el consumidor final.
- TERCERA:** La comparación con los ECA (DS N° 004-2017-MINAM) evidencia que el agua en las viviendas no cumple con los límites máximos permitidos para mercurio, lo cual representa un peligro para la salud. En reservorios, aunque los valores exceden el límite para agua con solo desinfección, sí cumplen con los límites para tratamientos convencionales y avanzados. La fuente natural cumple plenamente con la normativa, señalando áreas críticas para el control y mejora técnica en el proceso de potabilización.
- CUARTA:** Se propone suspender el consumo directo de agua en viviendas afectadas, implementar sistemas de filtración y tratamientos



eficientes en reservorios, fortalecer el monitoreo continuo de la calidad del agua, proteger la fuente natural y promover campañas educativas y coordinación interinstitucional para la mitigación efectiva del riesgo sanitario.



RECOMENDACIONES

- PRIMERA:** Estudios futuros deben explorar la identificación y cuantificación de las fuentes y mecanismos exactos de contaminación durante la distribución, incluyendo análisis de materiales y condiciones de la red hídrica, para diseñar estrategias de remediación más específicas y efectivas.
- SEGUNDA:** Es aconsejable realizar monitoreos más detallados con mayor frecuencia temporal y espacial para detectar variaciones estacionales, así como estudios cualitativos que involucren la evaluación de prácticas comunitarias y condiciones sanitarias en puntos de consumo.
- TERCERA:** Se recomienda investigar la aplicabilidad y efectividad de tecnologías de tratamiento de mercurio disponibles para sistemas pequeños como los reservorios locales y domésticos, evaluando costo-beneficio y sostenibilidad ambiental.
- CUARTA:** Es fundamental desarrollar estudios participativos que evalúen la aceptación y efectividad de las intervenciones propuestas, integrando aspectos sociales, económicos y culturales para diseñar programas integrales de gestión ambiental.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albemarle Corporation. (2024). Environmental Remediation - MercLok™.
<https://www.albemarle.com/global/es/what-we-offer/solutions/environmental-remediation>

Benítez, R., Gallo-Corredor, J. A., & Sarria-Villa, R. A. (2021). Propuesta metodológica para la remediación de aguas contaminadas con mercurio. Universidad de San Buenaventura.
<https://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstreams/6d92ebcb-bc7d-45a5-a0dd-31342e0eaea2/download>

Cadavid-Muñoz, N. (2020). El mercurio como contaminante y factor de riesgo para la salud pública. *Revista CES Salud Pública*, 11(2), 266–281.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-44492020000200280

Cadavid-Muñoz, N., Arango-Ruiz, Á., Cadavid-Muñoz, N., & Arango-Ruiz, Á. (2020). El mercurio como contaminante y factor de riesgo para la salud humana. *Revista Lasallista de Investigación*, 17(2), 280-296.
<https://doi.org/10.22507/rli.v17n2a21>

Callizana Jimenez, F. (2025). Calidad físico químico del agua de pozo destinado al consumo humano en el Centro Poblado de Thunco, Acora, Puno. Universidad Privada San Carlos.
<http://repositorio.upsc.edu.pe:8080/handle/UPSC/1370>

Ciencialatina. (2022). Contaminación ambiental por mercurio y la salud fisiológica y psicológica.
<https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/download/1178/1603/>



Ciencialatina. (s.f.). Contaminación ambiental por mercurio y la salud fisiológica y psicológica.

<https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/download/1178/1603/>

Coa Huaricallo, KKS (2023). Determinación de los niveles de mercurio en agua potable en zonas mineras. Repositorio UMA .

<https://repositorio.uma.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12970/1726/TESIS%20COA-FLORES.pdf>

Coa-Flores, E. (2021). Determinación de los niveles de mercurio en agua para consumo humano [Tesis de licenciatura, Universidad María Auxiliadora].

Repositorio UMA.

<https://repositorio.uma.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12970/1726/TESIS%20COA-FLORES.pdf>

De la Cruz Hilario, S., & Valencia Quispe, F. (2022). Calidad de sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano en el Centro Poblado de Sachapite – Huancavelica, 2022. <https://hdl.handle.net/20.500.14597/6305>

Delgado Rodriguez, T. M., & Zavala Sucuitana, P. C. (2021). Estudio de la concentración de metales pesados (arsénico, cadmio, mercurio y plomo) en agua para consumo humano en el departamento de Arequipa. Repositorio Institucional - UMA. <https://repositorio.uma.edu.pe/handle/20.500.12970/417>

Defensoría del Pueblo. (2023). Informe sobre la crisis ambiental por contaminación de mercurio en Perú. <https://www.defensoria.gob.pe/la-defensoria-del-pueblo-alerta-sobre-la-grave-problematica-del-mercurio-y-exige-una-intervencion-estatal-urgente-y-coordinada/>



Defensoría del Pueblo. (2025, 5 de junio). Nota de prensa n.º 113/OGCO/DP/2025. <https://www.defensoria.gob.pe/wp-content/uploads/2025/06/NP-113-2025.pdf>

FZS Perú. (2025, 7 de septiembre). Loreto: comunidades del Putumayo registran los niveles más altos de mercurio en la región. <https://peru.fzs.org/noticias/loreto-comunidades-del-putumayo-registran-los-niveles-mas-altos-de-mercurio-en-la-region/>

Gobernanza de la Región de Puno. (2020). Diagnóstico ambiental sobre metales pesados en Puno. Sistema Nacional de Información Ambiental . <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/1307.pdf>

Hernández Sampieri, R. (2019). Metodología de la investigación (6ª ed.). McGraw-Hill.

Herrera Vergara, M. C. (2024). Presencia de mercurio en agua de consumo humano: Una revisión del estado del arte. <https://hdl.handle.net/10495/38994>

Maldonado Mendoza, B. I. (2024). Evaluación de riesgo toxicológico en agua potable destinada para consumo humano con posibles concentraciones de plomo, mercurio y arsénico en el distrito de la Unión Leticia, 2023. <https://hdl.handle.net/20.500.13053/12086>

Mamani Machaca, U. H. (2024). Efectos del mercurio en la calidad del recurso hídrico aguas debajo de la Ciudad de Ananea 2024. <https://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/3228>

Ministerio de Salud del Perú (MINSA). (2020). Norma Sanitaria para el abastecimiento de agua para consumo humano mediante estaciones de surtidores y camiones cisterna (NTS N.º 166-MINSA/2020).



<http://www.digesa.minsa.gob.pe/noticias/Octubre2020/RM-854-2020-MINSA.pdf>

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2017). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. https://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2017). Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. Estándares de Calidad Ambiental para Agua. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-004-2017-minam/>

Mongabay Latam. (2025, 8 de septiembre). Alerta por mercurio y minería en Perú. <https://es.mongabay.com/2025/09/estudio-mercurio-mineria-peru-entrevista/>

Mongabay Latinoamérica. (2025, 5 de julio). Contaminación por mercurio: los graves efectos de la minería ilegal en América Latina. <https://es.mongabay.com/2025/07/contaminacion-mercurio-graves-efectos-mineria-ilegal-america-latina/>

Observatorio de Minería Ilegal. (2025, 10 de agosto). Estudio confirma alta exposición a mercurio en comunidades indígenas y ribereñas del Nanay y Pintuyacu. <https://www.observatoriomineriailegal.org.pe/archives/9516>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2024, 23 de octubre). Mercury and health. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health>

Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2025, 30 de septiembre). Mercurio. <https://www.paho.org/es/temas/mercurio>



OPS/OMS. (2023, 6 de septiembre). OPS ratifica que el mercurio es un elemento tóxico que puede causar daños al organismo.

<https://www.paho.org/es/noticias/6-9-2023-ops-ratifica-que-mercurio-es-elemento-toxico-que-puede-causar-danos-al-organismo>

Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2025). Determinantes ambientales de salud. <https://www.paho.org/es/temas/determinantes-ambientales-salud>

Pool, M. C. E. J. (2023). Evaluación de metales pesados en el sistema de abastecimiento de agua potable del Centro Poblado de Humaya, 2022. <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/8409>

Pure Earth. (2025). Remediación de relaves contaminados con mercurio en la minería artesanal en Colombia. <https://www.pureearth.org/remediacion-de-relaves-contaminados-con-mercurio-en-la-mineria-artesanal-en-colombia/>

Revistamedicasinergia. (2023). Intoxicación crónica por mercurio: reto diagnóstico.

<https://revistamedicasinergia.com/index.php/rms/article/download/1025/2114/6787>

Ruiz, R. (2020). El método científico y sus etapas. Editorial Académica.

Salazar, F. V. G. (2022). Evaluación de riesgo ambiental por concentración de plomo y mercurio en agua superficial. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(3), 54–65.

<https://llamkasun.unat.edu.pe/index.php/revista/article/download/93/115/526>

Sarria-Villa, R. A., Gallo-Corredor, J. A., & Benítez-Benítez, R. (2020). Tecnologías para remover metales pesados presentes en aguas. *JCI*, 8, 52–62.

https://jci.uniautonoma.edu.co/2020/2020_8.pdf



Schiavo, B. (2024). El mercurio como contaminante: fuentes, vías de exposición y efectos en la salud. *Epistemus*, 18(36).
<https://epistemus.unison.mx/index.php/epistemus/article/view/306>

Suasaca Benavente, K. (2025). Evaluación de la contaminación por mercurio en áreas mineras del Perú. Universidad Privada San Carlos .
<https://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/1090>

Tamayo, M. (2019). La investigación científica: Su estrategia y su filosofía. Limusa.

Tipo Soncco, A. (2024). Evaluación del sistema de abastecimiento y la calidad del agua potable del Centro Poblado de Oruro, Distrito de Crucero-2024. Universidad Privada San Carlos.
<http://repositorio.upsc.edu.pe:8080/handle/UPSC/1086>

Vega, ML y colaboradores. (2025). Impactos de la contaminación por mercurio en las comunidades indígenas de la Amazonía. *Revista Latinoamericana de Salud Ambiental* .
<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/49088>

Velásquez Viza, OA (2023). Contaminación por metales pesados y salud en comunidades mineras de Puno. Tesis Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo .
<https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/9866>

Vilca Quispe, C. I. (2022). Determinación de los niveles de mercurio y plomo de las aguas superficiales en la unidad hidrográfica del río Lampa y su relación con el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental (ECA) para el periodo 2021. Universidad Privada San Carlos.
<http://repositorio.upsc.edu.pe:8080/handle/UPSC/394>



Zamorín, S. (2024). Diagnóstico y propuestas para la remediación de aguas afectadas por metales pesados en el Perú. Universidad Nacional de Ingeniería. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14083/15768>

Gobernanza de la Región de Puno. (2020). Diagnóstico ambiental sobre metales pesados en Puno. Sistema Nacional de Información Ambiental. <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/1307.pdf>

Defensoría del Pueblo. (2023). Informe sobre la crisis ambiental por contaminación de mercurio en Perú. <https://www.defensoria.gob.pe/la-defensoria-del-pueblo-alerta-sobre-la-grave-problematika-del-mercurio-y-exige-una-intervencion-estatal-urgente-y-coordinada/>

Mongabay Latinoamérica. (2025, 5 de julio). Contaminación por mercurio: los graves efectos de la minería ilegal en América Latina. <https://es.mongabay.com/2025/07/contaminacion-mercurio-graves-efectos-mineria-ilegal-america-latina/>

Suasaca Benavente, K. (2025). Evaluación de la contaminación por mercurio en áreas mineras del Perú. Universidad Privada San Carlos. <https://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/1090>



ANEXOS



Anexo 1. Matriz de Consistencia

TÍTULO DE LA TESIS: EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DESTINADA A CONSUMO HUMANO EN EL CENTRO POBLADO LA RINCONADA, PUNO 2024				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Inst. de Med
<p>Problema General: ¿En qué estado se encuentra la concentración de mercurio en el sistema de abastecimiento de agua destinada a consumo humano en el centro poblado La Rinconada, Puno 2024?</p>	<p>Objetivo General: Evaluar la concentración de mercurio en el sistema de abastecimiento de agua destinada a consumo humano en el centro poblado La Rinconada, Puno 2024.</p>	<p>Hipótesis General: Se plantea que la concentración de mercurio en el sistema de abastecimiento de agua destinada a consumo humano en el centro poblado La Rinconada, Puno 2024, superará los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental del Perú, lo que podría representar un riesgo para la salud de la población.</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>Punto del sistema de abastecimiento de agua.</p> <p>Dimensiones: <i>Punto de muestreo:</i> - Vivienda - Reservorio - Nevado</p> <p>Variable Dependiente</p> <p>Concentración de mercurio.</p> <p>Dimensiones: <i>Categoría normativa:</i> - A1, A2, A3 ECA - Agua - OMS.</p>	<p>Ficha técnica registro de campo.</p> <p>Espectrometría de absorción atómica, ICP</p>
<p>Problemas Específicos</p> <p>¿Qué concentración de mercurio presenta el sistema de abastecimiento de agua destinada a consumo humano en el centro poblado La Rinconada, Puno, 2024?</p> <p>¿Los valores obtenidos de concentración de mercurio se encuentran dentro de lo establecido por los Estándares de Calidad Ambiental de agua?</p> <p>¿Cuáles son las acciones necesarias para corregir la problemática ocasionada por consumo de mercurio a través del sistema de abastecimiento de agua?</p>	<p>Objetivos Específicos</p> <p>Determinar la concentración de mercurio en el sistema de abastecimiento de agua destinada a consumo humano en el centro poblado La Rinconada, Puno 2024.</p> <p>Comparar la concentración de mercurio con los valores establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental de Agua.</p> <p>Proponer recomendaciones basadas en los resultados para mitigar los riesgos asociados al consumo de agua contaminada con mercurio.</p>	<p>Hipótesis Específicas</p> <p>La concentración de mercurio en las viviendas, reservorios y fuente natural del sistema de abastecimiento de La Rinconada presentará diferencias significativas, siendo mayor en las viviendas que en la fuente natural.</p> <p>Las concentraciones de mercurio detectadas en el sistema de abastecimiento estarán por encima de los límites permitidos en las viviendas y parcialmente en los reservorios, mientras que en la fuente natural se mantendrán dentro de los parámetros seguros establecidos por la regulación ambiental vigente.</p> <p>La aplicación de medidas correctivas y de tratamiento, basadas en los resultados obtenidos, permitirá mitigar los riesgos para la salud derivados del consumo de agua contaminada con mercurio en el centro poblado La Rinconada.</p>		

Anexo 2. Certificados de Calidad de Laboratorio

		LAQUAMEQ E.I.R.L.		LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL	
CADENA DE CUSTODIA – MATRIZ AGUA		DATOS DEL CLIENTE		UBICACIÓN	
SOLICITANTE: Eudes Rudy Cordero Trujillo		DEPARTAMENTO: PUNO		DEPARTAMENTO: PUNO	
RAZÓN SOCIAL:		PROVINCIA: SAN ANTONIO DE PUTINA		PROVINCIA: SAN ANTONIO DE PUTINA	
RUC:		DISTRITO: ANANEA – C.P. la Rinconada.		DISTRITO: ANANEA – C.P. la Rinconada.	
PROYECTO		EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DESTINADA A CONSUMO HUMANO EN EL CENTRO POBLADO LA RINCONADA I PUNO 2024			

N°	CÓDIGO	MUESTRO	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		PARÁMETRO IN SITU				PARÁMETRO DE ENSAYO				OBSERVACIÓN		
			GRUPO	SUB GRUPO	UBICACIÓN	COORDENADAS (UTM)	FRANCIS	T	P	V	PH	CE		OD (mg/L)	CLORO RESIDUAL (mg/L)
1	M1-V	F: 24/02/2025 H: 12:12 Pm	AN	G	E: 451975.562E N: 636251.961N			X	-	-	-	-	-	-	HERCURI0
2	H2-V	F: 24/02/2025 H: 12:16 Pm	AN	G	E: 451975.562E N: 636251.961N			X	-	-	-	-	-	-	HERCURI0
3	H3-R	F: 24/02/2025 H: 2:59 Pm	AN	G	E: 451973.011E N: 6362161.744N			X	-	-	-	-	-	-	HERCURI0
4	H4-R	F: 24/02/2025 H: 2: 56 Pm	AN	G	E: 451973.011E N: 6362161.744N			X	-	-	-	-	-	-	HERCURI0
5	H5-N	F: 24/02/2025 H: 1:56 Pm	AN	G	E: 452522.635E N: 6363667.62N			X	-	-	-	-	-	-	HERCURI0
6	H6-N	F: 24/02/2025 H: 1:56 Pm	AN	G	E: 452522.635E N: 6363667.62N			X	-	-	-	-	-	-	HERCURI0
7		F: H:			E: N:										

CATEGORÍA (origen)		SUB-CATEGORÍA (sub-grupo)	
AN: Agua natural		S: Superficial (superficial (S), aguas (S), lluvias (S) y riego (S))	
AR: Agua residual		D: Doméstica (D), industrial (I), agrícola (A) y municipal (M)	
AM: Agua para uso y consumo humano		P: Pluvial (P), agua de mina (M) y potable (PT)	
AS: Agua salina		M: Mar (M) y salmuera (S)	

LABORATORIO		CLIENTE	
Nombre	Eudes Rudy Cordero Trujillo	Fecha	24/02/2025
Fecha	24/02/2025	Finis	Quilón

OBSERVACIONES/COMENTARIOS	



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

RESULTADO DE ANALISIS - AGUAS

INFORME N° LC 138 – 24

I. DATOS DEL SERVICIO

- 1.1. **Solicitante** : EUDES RUDY CONDORI TRUJILLO
1.2. **Proyecto** : EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DESTINADA A CONSUMO HUMANO EN EL CENTRO POBLADO LA RINCONADA, PUNO 2024

II. DATOS DEL ENSAYO

- 2.1. **Producto** : Agua natural
2.2. **Numero de muestras** : 09
2.3. **Muestreado por** : Eudes Rudy Condori Trujillo
2.4. **Fecha de ensayo** : 13/01/2025
2.5. **Departamento** : Puno
2.6. **Provincia** : San Román
2.7. **Distrito** : Juliaca
2.8. **Ubicación, fecha y hora de muestreo**

Código	C.P/ Dist. /Prov./ Depart.	Ubicación	Fecha y hora de muestreo
M 1 – V	Rinconada/Ananea/San Antonio de Putina/Puno	E: 451975.502 N: 8382051.901	10/01/2025 12:12
M 2 – V	Rinconada/Ananea/San Antonio de Putina/Puno	E: 451975.502 N: 8382051.901	10/01/2025 12:16
M 3 – V	Rinconada/Ananea/San Antonio de Putina/Puno	E: 451975.502 N: 8382051.901	10/01/2025 12:30
M4 – R	Rinconada/Ananea/San Antonio de Putina/Puno	E: 451973.011 N: 8382161.94	10/01/2025 14:59
M5 – R	Rinconada/Ananea/San Antonio de Putina/Puno	E: 451973.011 N: 8382161.94	10/01/2025 14:56
M6 – R	Rinconada/Ananea/San Antonio de Putina/Puno	E: 451973.011 N: 8382161.94	10/01/2025 15:00
M7 – N	Rinconada/Ananea/San Antonio de Putina/Puno	E: 452522.835 N: 8383687.82	10/01/2025 13:58
M8 – N	Rinconada/Ananea/San Antonio de Putina/Puno	E: 452522.835 N: 8383687.82	10/01/2025 13:56
M9 – N	Rinconada/Ananea/San Antonio de Putina/Puno	E: 452522.835 N: 8383687.82	10/01/2025 14:00





UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

III. RESULTADOS

N°	CÓDIGO	MERCURIO mg/L
1	M 1 – V	0.0032
2	M 2 – V	0.0028
3	M 3 – V	0.0023
4	M4 – R	0.0015
5	M5 – R	0.0012
6	M6 – R	0.0013
7	M7 – N	<0.001
8	M8 – N	<0.001
9	M9 – N	<0.001

IV. MÉTODO DE ENSAYO

Los parámetros fueron analizados de acuerdo a las recomendaciones de los Métodos normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWW.WEF.21th ed. 2005

Juliaca, 14 de enero 2025

UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

Mgtr. Ing. Milton Quispe Huanca
CIP. 47790
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL - FICP

Anexo 3. Panel fotográfico

Fotografía 1. Recolección de la muestra – primer punto



Fotografía 2. Método de muestreo - primer punto



Fotografía 3. Viviendas que utilizan el agua



Fotografía 4. Zona de muestreo – segundo punto



Fotografía 5. Recolección de la muestra – segundo punto



Fotografía 6. Método de muestreo



Fotografía 7. Zona de muestreo – tercer punto



Fotografía 8. Nevado ritti pata – tercer punto



Fotografía 9. Método de muestreo en el glaciar





ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital [X]

Fecha de entrega: 27/11/2025

Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: EUDES RUDY CONDORI TRUJILLO

Dirección: JR CONDORCANQUI K-16-3B URB. SANTA CATALINA

NI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 70414949

Teléfono: email: eudesrudyct@gmail.com

Nombres y Apellidos:

Dirección:

NI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°:

Teléfono: email:

Facultad y/o Escuela de Posgrado: FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL

Asesor: DR. ARNALDO YANA TORRES

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación [] Tesis [X] Trabajo de Suficiencia Profesional [] Trabajo Académico []

Título: EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DESTINADA A CONSUMO HUMANO EN EL CENTRO POBLADO LA RINCONADA, PUNO 2024

Palabras claves, (3 a 5 términos): Mercurio, Contaminación del agua, Agua potable, Calidad Ambiental

Esta obra se desarrolló en la UANCV 1, 2?

2

Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros mencionados.

Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

Bachiller Título 2da Especialidad Maestría Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo

Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral. Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

- Internacional
 Nacional

Línea de investigación: CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL – P22

Firma de Autor



huella digital

27 de Noviembre 2025

Fecha